

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και

Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου

Περιβάλλοντος

**«Χρήση UV απορροφητικών πλαστικών φύλλων για
κάλυψη θερμοκηπίων. Επίδραση στη διαπνοή και τη
φωτοσύνθεση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας ».**

Πτυχιακή Διατριβή

Μανωλαράκη Χρυσούλα

**Επιβλέπων Καθηγητής
Κωνσταντίνος Κίττας**

Νέα Ιωνία, 2006



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	4913/1
Ημερ. Εισ.:	14-09-2006
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	ΠΤ – ΦΠΑΠ
	2006
	MAN

«Χρήση UV απορροφητικών πλαστικών φύλλων για κάλυψη θερμοκηπίων. Επίδραση στη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας ».

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Κ. Κίττας (Επιβλέπων)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Γ. Νάνος (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Ι.-Α. Χα (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής
Γεωργικές Κατασκευές
Επίκουρος Καθηγητής
Δενδροκομία
Επίκουρος Καθηγητής
Κηπευτικές Καλλιέργειες

Μανωλαράκη Χρυσούλα

«Χρήση UV απορροφητικών πλαστικών φύλλων για κάλυψη θερμοκηπίων. Επίδραση στη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας ».

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται διερεύνηση της επίδρασης ενός απορροφητικού της υπεριώδους ακτινοβολίας υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων, στη φωτοσύνθεση και τη διαπνοή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο όμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια. Το ένα θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο με κοινό πλαστικό θερμικό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE-1), με διαπερατότητα 20.1 % στη UV-A ακτινοβολία και 12.4 % στη UV-B ακτινοβολία και χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας ενώ το άλλο θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο με πλαστικό θερμικό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE-2) με διαπερατότητα 0.4 % στη UV-A και 1.1 % στη UV-B ακτινοβολία. Οι μετρήσεις φωτοσύνθεσης και διαπνοής έγιναν με τη βοήθεια ενός φορητού συστήματος κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου (άνοιξη – καλοκαίρι 2004) στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν βαθμονομήθηκε η εξίσωση πρόβλεψης της φωτοσύνθεσης συναρτήσει της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR), του Acock.

Όσον αφορά το ρυθμό διαπνοής, προκύπτει ότι τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό συνθήκες έλλειψης UV ακτινοβολίας φαίνεται να διαπνέουν με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με αυτά που μετρήθηκαν σε κανονικές συνθήκες UV ακτινοβολίας. Επίσης, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, ο οποίος μετρήθηκε σε νεαρά ή παλιά φύλλα φυτών τα οποία είχαν μεγαλώσει είτε υπό συνθήκες κανονικών επιπέδων UV ακτινοβολίας, είτε υπό συνθήκες μειωμένων επιπέδων UV ακτινοβολίας, ήταν μεγαλύτερος όταν οι μετρήσεις γίνονταν υπό συνθήκες κανονικών επιπέδων UV ακτινοβολίας (PE-1), από ότι όταν οι μετρήσεις γίνονταν υπό συνθήκες μειωμένων επιπέδων UV ακτινοβολίας (PE-2).

ABSTRACT

The aim of this work was to study the influence of a UV absorbing plastic film, on photosynthesis and transpiration of a tomato soilless crop.

A tomato soilless crop was cultivated in two similar arch shaped greenhouses. The first greenhouse was covered with common plastic PE-film which transmitted 20.1 % of UVA and 12.4 % of UVB radiation. The second greenhouse was covered with plastic PE-film which transmitted 0.4 % of UVA and 1,1 % of UVB radiation into the greenhouse. Photosynthetic and transpiration rates measurements were made by a portable system during a crop period (spring – summer 2004) in the farm of University of Thessaly in Velestino. Using measurements of photosynthesis, a correlation equation of photosynthetic rate with Photosynthetically Active Radiation (PAR), of Acock was developed.

Plants measured under the UV absorbing plastic cover transpire more than these measured under the common plastic PE cover. Results showed that photosynthetic rate, which was measured in new or in old leaves of plants that grew up either under normal levels of UV radiation or under the UV absorbing film, was higher when measurements were made under normal levels of UV radiation.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Κ. Κίττα Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, για την υπόδειξη του θέματος της πτυχιακής διατριβής μου, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε κατά τη διάρκειά της.

Θερμές ευχαριστίες αποδίδονται στον λέκτορα κ. Ν. Η. Κατσούλα για το ενδιαφέρον, την επιστημονική καθοδήγηση, τη συνεργασία του και τη βοήθεια που μου πρόσφερε στη συγγραφή της εργασίας μου.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ι.-Α. Χα και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γ. Νάνο για τις διορθώσεις-υποδείξεις τους ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται στην υποψήφιο διδάκτορα κ. Χ. Παπαϊωάννου την πολύτιμη συνεργασία και τη βοήθεια της κατά την πραγματοποίηση της εργασίας μου.

Τέλος ευχαριστώ όλα τα μέλη του εργαστηρίου, και ιδιαίτερα τη φοιτήτρια Ε. Τσιπράκου, για τη συνεργασία, τη συμπαράσταση και τη βοήθεια της κατά την πραγματοποίηση της εργασίας μου.

1. ΓΕΝΙΚΑ.....	10
1.1. ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	10
1.2. ΕΚΤΑΣΕΙΣ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	11
1.2.1. ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	12
1.3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	13
1.3.1. ΤΥΠΟΙ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ & ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ.....	13
1.3.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΜΕ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΦΩΣ..	18
1.3.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΝ ΤΗ ΥΨ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	21
1.4. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	25
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	26
2.1. ΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	26
2.1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	26
2.1.1.1. ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	27
2.1.1.2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΦΥΤΑ	29
2.1.2. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	31
2.1.3. ΥΓΡΑΣΙΑ	32
2.1.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	34
2.2. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ.....	34
2.2.1. ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	35
2.2.2. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	37
2.2.2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	37
2.2.2.2. ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.....	38
2.2.2.3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΥΓΡΑΣΙΑ	38
2.2.2.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ CO ₂	38
2.3. ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ	39
2.3.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ	40
2.4. ΔΙΑΠΝΟΗ.....	41
2.4.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΠΝΟΗΣ.....	42
2.5. ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	42
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	44
3.1. ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ.....	44
3.2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	44
3.3. ΑΕΡΙΣΜΟΣ	45
3.4. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.....	45
3.5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΩΝ.....	46
3.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ.....	47
3.7. ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	49
3.8. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	50
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	52
4.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.	52
4.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ.....	53
4.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΠΝΟΗ	64

4.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ.....	66
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	68
5.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΙΚΑ.....	68
5.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	73
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79

1. ΓΕΝΙΚΑ

1.1. ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Η γεωργική παραγωγή του ανοιχτού αγρού εξαρτάται από ασταθείς και αβέβαιας εξέλιξης μετεωρολογικούς παράγοντες. Γι' αυτό από πολλούς η γεωργία του ανοιχτού αγρού, θεωρείται μια οικονομική δραστηριότητα με σχετικά αβέβαιο οικονομικό αποτέλεσμα.

Γενικά η γεωργική παραγωγή εξαρτάται από παράγοντες που έχουν σχέση με το κληρονομικό δυναμικό του φυτού και από παράγοντες, όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα κ.ά. που αποτελούν το περιβάλλον της κόμης ή της ρίζας του φυτού. Για να επιτευχθεί αξιόπιστος χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, μεγιστοποίησή της και βελτιστοποίηση της ποιότητας των προϊόντων μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας απαιτείται η ρύθμιση των προαναφερθέντων παραγόντων προς τη σωστή κατεύθυνση.

Η τεχνολογία των θερμοκηπίων αναπτύχθηκε προκειμένου να δημιουργείται το κατάλληλο περιβάλλον για την εκάστοτε επιθυμητή καλλιέργεια. Το θερμοκήπιο παρέχει τη δυνατότητα καλλιέργειας των φυτών κατά τη διάρκεια όλου του έτους και είναι μία κατασκευή, η οποία επιτρέπει στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία να εισέρχεται και παγιδεύει τη μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία προκειμένου να δημιουργηθεί το επιθυμητό μικροκλίμα για υψηλότερη παραγωγή (Jain 2004).

Με το θερμοκήπιο περιορίζουμε το μέγεθος του ελεύθερου φυσικού χώρου, για να καταστεί δυνατό να ρυθμίσουμε, με οικονομικά αποδεκτό τρόπο, τους παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών. Η παραγωγή επομένως εξαρτάται από ρυθμιζόμενης εξέλιξης παράγοντες και γι' αυτό η γεωργική παραγωγή που γίνεται στο σύγχρονο θερμοκήπιο έχει σχεδόν όλα τα γνωστά χαρακτηριστικά της βιομηχανικής παραγωγής. Επιπλέον, η ανάπτυξη των φυτών δεν εξαρτάται πλέον από τυχαίους παράγοντες, αλλά από τους χειρισμούς του ανθρώπινου παράγοντα.

Τα προϊόντα που παράγονται στο θερμοκήπιο ανήκουν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

➤ τρόφιμα [λαχανικά και φρούτα]

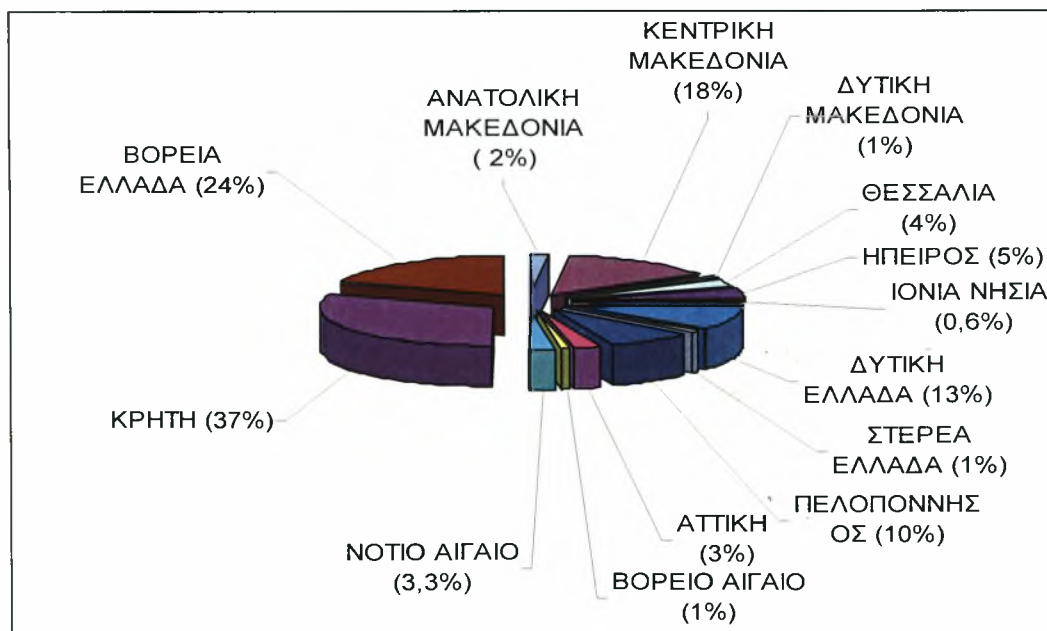
➤ καλλωπιστικά φυτά [γλάστρικά φυτά και δρεπτά (κομμένα) άνθη].

1.2. ΕΚΤΑΣΕΙΣ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η ανάπτυξη των θερμοκηπίων στις μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Νότια Γαλλία) εξαπλώθηκε την τελευταία εικοσαετία (Κίττας 2001). Στην Ελλάδα, σύμφωνα με πρόσφατα αποτελέσματα της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2004, η έκταση των θερμοκηπίων ανέρχεται στα 45.000 στρέμματα για την καλλιέργεια των λαχανικών, ενώ για την καλλιέργεια ανθοκομικών φυτών ανέρχεται στα 4.000 στρέμματα (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος).

Οι περισσότερες εκτάσεις θερμοκηπίων συναντώνται στις πλέον ευνοϊκές από πλευράς κλίματος (ήπιοι χειμώνες, απουσία παγετών, κλπ) περιοχές. Ύψιστης σημασίας είναι η παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων χωρίς ή με ελάχιστη ανάγκη πρόσθετης θέρμανσης. Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζονται οι εκτάσεις (σε στρέμματα) θερμοκηπίων στις διάφορες περιοχές της χώρας.

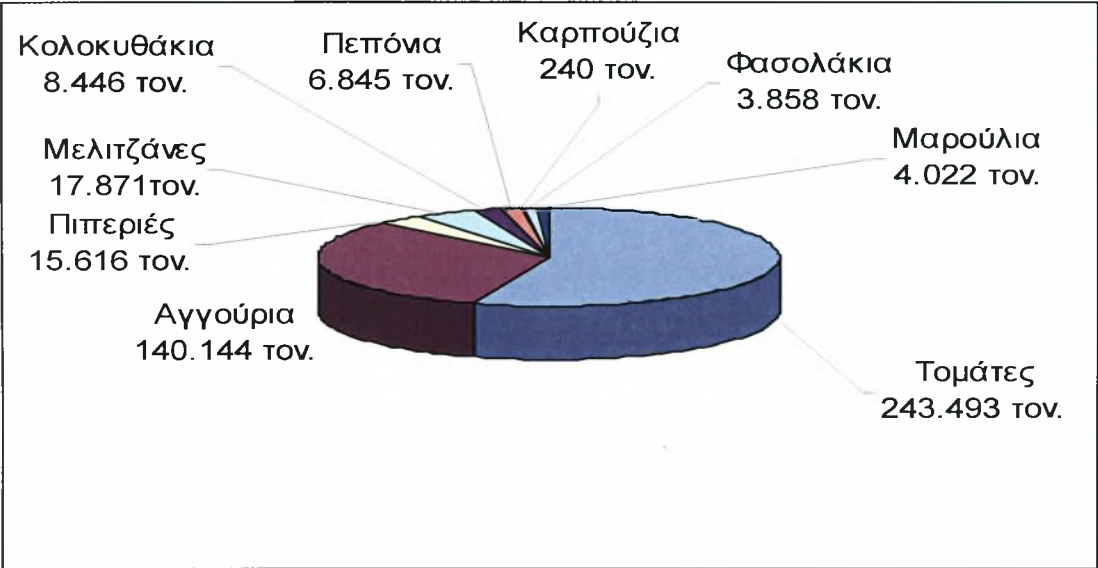
Στην Κρήτη (Ιεράπετρα, Τυμπάκι, Παλαιόχωρα) συναντάται σχεδόν το μισό των θερμοκηπιακών εκτάσεων σε ποσοστό 37% λόγω ευνοϊκού κλίματος, έπεται η Βόρεια Ελλάδα με ποσοστό 24%, ενώ περιοχές με σημαντική έκταση θερμοκηπίων θεωρούνται η Δυτική Ελλάδα με 13%, και η Πελοπόννησος με 10%).



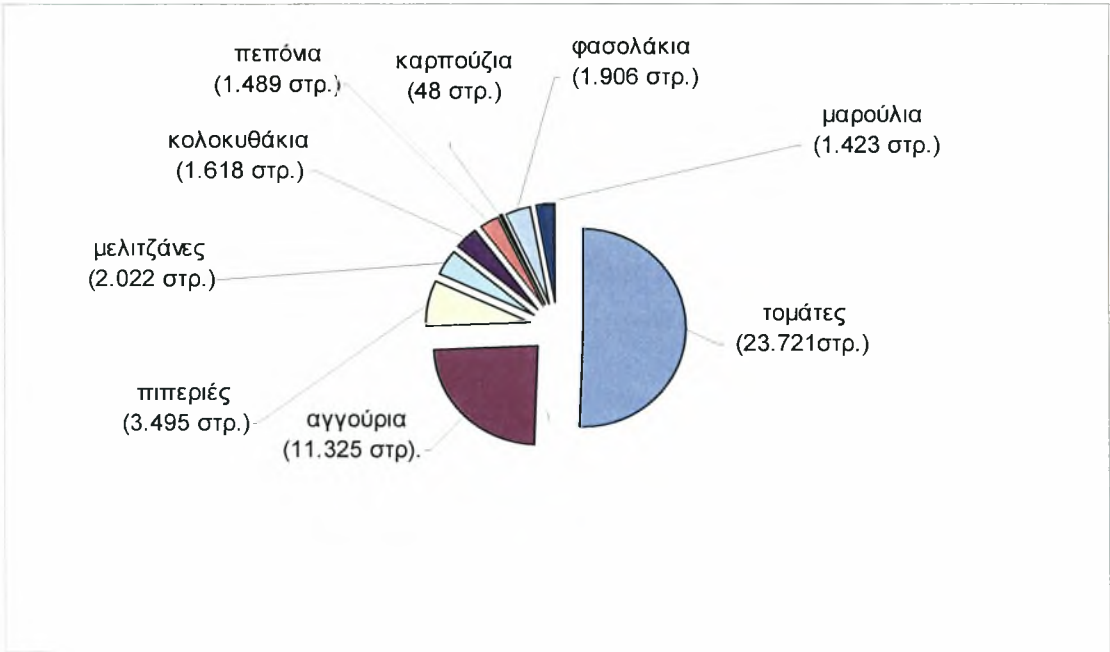
Εικόνα 1.1. Θερμοκηπιακές εκτάσεις της Ελλάδας
(ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΓΕΩΡΓΙΑΣ-ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑΣ ΕΤΟΥΣ 1999/2000)

1.2.1. ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Σημαντικός αριθμός λαχανικών με απαιτήσεις σε θερμότητα καλλιεργείται στα θερμοκήπια για παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής τους χειμερινούς μήνες. Τα πλέον καλλιεργούμενα λαχανικά είναι η τομάτα και το αγγούρι, τα οποία καταλαμβάνουν το 75% της συνολικής έκτασης θερμοκηπίων (τομάτες το 50% και αγγούρι το 25%).



Εικόνα 1.2. Παραγωγή λαχανικών στα θερμοκήπια στην Ελλάδα την καλλιεργητική περίοδο 1997-98.



Εικόνα 1.3. Συνολική έκταση των διαφόρων κηπευτικών που καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπια κατά την καλλιεργητική περίοδο 1997-1998 στην Ελλάδα.

* η συνολική καλλιεργούμενη έκταση θερμοκηπίων εμφανίζεται μεγαλύτερη από την έκταση που καταλαμβάνουν τα θερμοκήπια. Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι μερικά θερμοκήπια καλλιεργούνται με δύο συνεχόμενες καλλιέργειες την ίδια καλλιεργητική περίοδο.

Οι εκτάσεις με στρέμματα που καταλαμβάνουν τα διάφορα είδη λαχανικών που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια ως κύρια και δευτερεύουσα καλλιέργεια (μερικά θερμοκήπια χρησιμοποιούνται για 2 καλλιέργειες την ίδια καλλιεργητική περίοδο) και η παραγωγή σε τόνους κατά το 1997-98 δίνονται στις Εικόνες 1.2 και 1.3.

1.3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

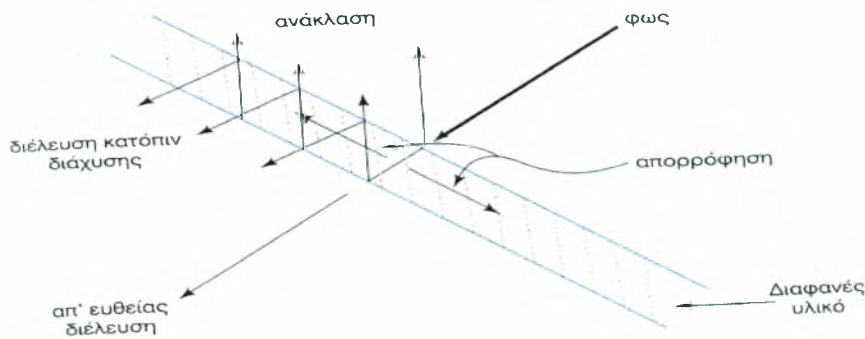
1.3.1. ΤΥΠΟΙ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ & ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ

Τα τελευταία χρόνια, οι προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση του περιβάλλοντος των θερμοκηπίων και των συνθηκών καλλιέργειας οδήγησαν στην εισαγωγή νέων μεθόδων ελέγχου του κλίματος, στη χρήση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών στο χώρο των θερμοκηπίων καθώς επίσης και στην εισαγωγή νέων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων.

Οι ιδιότητες του διαφανούς υλικού κάλυψης, επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα του φωτός που τελικά φθάνει στα καλλιεργούμενα εντός του θερμοκηπίου φυτά. Η σωστή επιλογή του είναι πρωταρχικός παράγοντας στην κατασκευή του θερμοκηπίου. Ένα καλής ποιότητας υλικό κάλυψης πρέπει να επιτρέπει τη διείσδυση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας από την προσπίπτουσα σε αυτό ακτινοβολία και να ευνοεί τη διάχυση της στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα την ύπαρξη ομοιογένειας φωτισμού σε όλο τον καλυπτόμενο χώρο. Σημαντικό επίσης είναι να διέρχονται όλα τα μήκη κύματος τα οποία είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών

Όπως παρατηρείται από την Εικόνα 1.4, το φως αφού πέσει πάνω στο διαφανές υλικό κάλυψης είναι δυνατό να:

1. ανακλασθεί πάνω στο υλικό
2. απορροφηθεί από το υλικό
3. διέλθει μέσα από το υλικό (Κίττας 2001).



Εικόνα 1.4. Περαιότητα του διαφανούς υλικού στο φως

Τα διάφορα μήκη κύματος του φωτός ανακλώνται, απορροφώνται ή διέρχονται μέσω των διαφόρων υλικών κατά διαφορετικό τρόπο. Το γεγονός αυτό επιδρά στην ποιότητα του φωτισμού που εισέρχεται μέσα στο θερμοκήπιο.

Το κοινό μειονέκτημα των περισσότερων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η μικρή αντοχή στο χρόνο. Υλικά κάλυψης όπως τα πλαστικά, δείχνουν μικρή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (αποπολυμερισμός), άλλα, όπως το γυαλί, δείχνουν μικρή αντοχή στο χαλάζι και άλλα μικρή αντοχή στον άνεμο. Στα πλαστικά η αντοχή στο χρόνο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) είναι ο σημαντικότερος γιατί προκαλεί φωτοχημικά φαινόμενα εντός του σώματος του διάφανου πλαστικού, με αποτέλεσμα μείωση της φωτεινής περαιότητας του, της μηχανικής αντοχής του και τελικά την καταστροφή του (Μαυρογιαννόπουλος 1994).

Ως υλικά κάλυψης χρησιμοποιούνται σήμερα οι υαλοπίνακες, τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα, και τα φύλλα σκληρού πλαστικού.

Α) Οι υαλοπίνακες

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γυαλιού, σαν υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων, είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων του με το πέρασμα του χρόνου. (Κίττας 2001).

Το ποσοστό διέλευσης της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας στους συνηθισμένου πάχους υαλοπίνακες, είναι συγκριτικά από τα μεγαλύτερα, δεδομένου ότι φτάνει περίπου το 90%. Γενικά, για όλες τις επιφάνειες που πρέπει να καλυφθούν με συνήθων διαστάσεων υαλοπίνακες, αυτοί θα πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο πάχος 4 mm (<http://daedalus.math.uoi.gr/agrotica/anthokomia/anth/kef/4/424.htm>).

B) Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα

Στα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού περιλαμβάνονται το φύλλο πολυαιθυλενίου (PE), το φύλλο πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και το φύλλο πολυεστέρα. Το πρώτο είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα. Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα πλεονεκτούν των άλλων υλικών κάλυψης λόγω του μικρού βάρους τους, της χαμηλής τιμής τους, της ευκολίας προσαρμογής σε διάφορα σχήματα του σκελετού, της δυνατότητας που δίνουν για χρησιμοποίηση ελαφρότερου και φθηνότερου σκελετού και κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους αρχικής επένδυσης συγκρινόμενο με το σύνολο του κόστους του θερμοκηπίου (Μαυρογιαννόπουλος 1994).

Σε ορισμένα πλαστικά φύλλα έχουν προστεθεί ορισμένες χημικές ενώσεις οι οποίες προκαλούν αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών τους (π.χ. η μείωση της περατότητας σε ορισμένα μήκη κύματος του ορατού φωτός και η ενίσχυση της περατότητας σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος) (<http://daedalus.math.uoi.gr/agrotica/anthokomia/anth/kef/4/424.htm>).

Γ) Τα φύλλα σκληρού πλαστικού

Το υλικό κατασκευής των φύλλων σκληρού πλαστικού μπορεί να είναι είτε ενισχυμένος πολυεστέρας είτε πολυκαρβονικές ενώσεις, είτε ακρυλικές ενώσεις, είτε σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο. (Μαυρογιαννόπουλος 1994).

Παρακάτω αναφέρονται κάποιες νέες εξελίξεις στο χώρο των πλαστικών υλικών κάλυψης, που αφορούν τόσο τα ίδια τα υλικά όσο και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των πλαστικών φύλλων για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους:

A) Λεπτά φύλλα πολυαιθυλενίου LPDE (low density polyethylene): βελτιώνουν την περατότητα στο φως. Τόσο αυτά όσο και τα EVA, έχει υπολογιστεί ότι η περατότητα τους στο φάσμα της PAR είναι 90% όταν χρησιμοποιούνται με μια στρώση και 80% όταν χρησιμοποιούνται με 2 στρώσεις.

B) Φθορίζοντα φύλλα: διαθέτουν πρόσθετα συστατικά που επιτρέπουν την απορρόφηση σε μήκη κύματος εκτός της Φωτοσυνθετικά Ενεργού Ακτινοβολίας (PAR) και την επανεκπομπή τους στο ορατό (Φθορισμός). Τέτοια υλικά δείχνουν αυξημένη περατότητα συγκριτικά με τα συμβατικά αλλά αυτή η βελτίωση είναι αναπόφευκτα μικρή καθώς δεν είναι τόσο αποδοτική και τα πρόσθετα συστατικά εκφυλίζονται σχετικά γρήγορα.

Γ) Υλικά απορροφητικά του μακρινού ερυθρού: τα υλικά αυτά απορροφούν στο μακρινό ερυθρό ενώ διατηρούν μεγάλη περατότητα στο κόκκινο. Τα υλικά αυτά ελέγχουν την ανάπτυξη των φυτών μειώνοντας την επιμήκυνση των βλαστών αφού αυξάνεται ο λόγος R/FR. Έτσι μειώνεται η χρήση ρυθμιστών αύξησης στις ανθοκομικές καλλιέργειες. Απαραίτητο είναι όμως, τα πρόσθετα αυτά να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Δ) Σταθεροποιητές της υπεριώδους ακτινοβολίας: πρόκειται για τη χρήση του σταθεροποιητή HALS (Hindered Amine Light Stabilizer), ο οποίος προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στα πλαστικά φύλλα (<http://www.biology.leeds.ac.uk/school/societies/ceug/proceedings/proceedings02.htm>)

Τα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων της εταιρείας «Πλαστικά Κρήτης» συμπεριλαμβάνουν προϊόντα με διάρκεια ζωής πάνω από 5 εποχές, περιέχοντας ειδικούς συνδυασμούς UV-σταθεροποιητών και αντιοξειδωτικών που τα προστατεύουν από τη βλαβερή επίδραση της UV ακτινοβολίας και τη ζέστη για μεγάλες χρονικές περιόδους. Τα υλικά κάλυψης προστατεύονται με ένα από τα ακόλουθα συστήματα των UV σταθεροποιητών:

- επιλεγμένα HALS + UV απορροφητές
- επιλεγμένα HALS + UV απορροφητές + σταθεροποιητές για βελτιωμένη αντίσταση στα αγροχημικά
- Ni- πυρακτωμένο + UV απορροφητές
- Ειδικά χημικά ανθεκτικά HALS + UV απορροφητές

(HALS:Hindered Amine Light Stabilizers) (www.plastikakritis.com).

Τα παραπάνω υλικά κάλυψης παρέχουν κατ' επιλογή ορισμένα χαρακτηριστικά για την προστασία του φυτού, την αύξηση και την ανάπτυξη του. Αυτά είναι:

- *Διάχυση του φωτός* (Εικόνα 1.5): Με τη χρήση αυτού του υλικού αντί να αποδίδεται το 90% του διαθέσιμου φωτός στο 20% της επιφάνειας της καλλιέργειας, το φαινόμενο της διάχυσης αποδίδει 85% του διαθέσιμου φωτός στο 80% της καλλιέργειας. Έτσι μειώνεται και το φαινόμενο του φωτοτροπισμού (Carruthers, 2004). Έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη του φυτού ειδικά στις ανοιξιάτικες και καλοκαιρινές καλλιέργειες και σε περιοχές με δυνατή ηλιακή ένταση. Επιπλέον, μειώνει τη σκίαση, διασφαλίζει ομοιόμορφο

φωτισμό στο θερμοκήπιο που φτάνει και στα κατώτερα μέρη των φυτών και εμποδίζει τα καψίματα.



Εικόνα 1.5. Υλικό κάλυψης που διαχέει το ηλιακό φως.

- *Θερμική επίδραση* (Εικόνα 1.6): τα υλικά κάλυψης αποτελούνται από 3 στρώματα θερμικών πλαστικών, περιέχουν ένα συνδυασμό από EVA και υπέρυθρα προσθετικά που απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία και μειώνουν τις απώλειες της νύχτας.



Εικόνα 1.6. Υλικό κάλυψης που απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία.

- *Αντισταγονική ιδιότητα* (Εικόνα 1.7): υλικά κάλυψης περιέχουν ειδικά πρόσθετα που μειώνουν τις σταγόνες και σχηματίζουν ένα συνεχές λεπτό στρώμα νερού που ρέει στις πλευρές του πλαστικού υλικού, επιτρέποντας έτσι τη διέλευση περισσότερου φωτός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1.7. Υλικό κάλυψης με αντισταγονικές ιδιότητες.

- Δροσισμός (Εικόνα 1.8): υλικά που αντανακλούν ή απορροφούν την IR ακτινοβολία (η οποία είναι άχρηστη για την ανάπτυξη των φυτών) μειώνοντας έτσι τη ζέση μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 1.8. Υλικό κάλυψης που δεν επιτρέπει τη διέλευση της IR ακτινοβολίας.

1.3.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΜΕ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΦΩΣ

Τα υλικά αυτά προέρχονται από τα συνήθη πλαστικά φύλλα, με τη διαφορά ότι με επιπλέον πρόσθετα γίνεται αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών τους, λ.χ. μειώνεται η περατότητα σε ορισμένα μήκη κύματος του ορατού φωτός και ενισχύεται η περατότητα σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών είναι δυνατή η εισροή περισσότερης ακτινοβολίας ενός καθορισμένου μήκους κύματος για την επίτευξη διαφόρων στόχων.

Απο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν βρέθηκε ότι τα υλικά αυτά επιδρούν ποικιλοτρόπως στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και την ανάπτυξη των φυτών, χωρίς σημαντικά όμως πρακτικά αποτελέσματα. Η χρήση τους προϋποθέτει σαφή γνώση των φυσιολογικών απαιτήσεων και αντιδράσεων των φυτών στα διάφορα μήκη κύματος φωτός.

Με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένου χρωματισμού στο φύλλο πολυαιθυλενίου, παρατηρήθηκε η απουσία ορισμένων εντόμων από το χώρο του θερμοκηπίου, η μείωση όμως του φωτοσυνθετικά ενεργού φωτός ήταν σημαντική (Μαυρογιαννόπουλος 1994).

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των απορροφητικών στο μακρινό κόκκινο φως υλικών κάλυψης σε καλλιέργεια μαρουλιού, παρατηρήθηκε ότι τα φυτά που μεγάλωσαν υπό την κάλυψη του απορροφητικού στο μακρινό κόκκινο υλικό παρουσίασαν έντονο ανοιχτό πράσινο χρώμα. Αντίθετα, τα φυτά τα οποία μεγάλωσαν σε θερμοκήπιο χωρίς το παραπάνω υλικό εμφανίστηκαν με σκούρο πράσινο χρώμα. Επιπλέον, τα φυτά υπό το απορροφητικό υλικό κάλυψης είχαν

λιγότερο πικρή γεύση σε σύγκριση με τα φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν χωρίς το απορροφητικό στο μακρινό κόκκινο υλικό κάλυψης. Στα φυτά που αναπτύχθηκαν υπό το υλικό κάλυψης ελαττώθηκε το κάψιμο της κορυφής, αυξήθηκε η συγκέντρωση ασβεστίου και το φυτό παρήγαγε λιγότερη χλωροφύλλη και ξηρή ουσία σε σχέση με τα φυτά που δεν ήταν καλυμμένα με το υλικό κάλυψης (Kleeman 2002).

Τα φωτοεκλεκτικά υλικά, περιέχουν πρόσθετα και χρωστικές που τροποποιούν το φάσμα φωτός που εισέρχεται στο θερμοκήπιο, μεταβάλλοντας με αυτό τον τρόπο την αύξηση των φυτών (φωτοσύνθεση και φωτομορφογένεση). Χρησιμοποιώντας τέτοιου είδους υλικά μπορούμε να αυξήσουμε την παραγωγή, να προάγουμε ή να εμποδίσουμε την ανάπτυξη των φυτών, καθώς επίσης και να προκαλέσουμε επιμήκυνση ή νανισμό στα φυτά (www.plastikakritis.com).

Τα νέα φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων, ανάλογα με το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφούν διακρίνονται σε:

1. Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων, που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία (UV-A: 320-380nm, UV-B: 280-320nm) σε διαφορετικά επίπεδα και σχετίζονται με τη δραστηριότητα των εντόμων και την ανάπτυξη ασθενειών και ιώσεων. Επίσης, τα συγκεκριμένα φωτοεκλεκτικά πλαστικά επιδρούν στα μορφολογικά χαρακτηριστικά του φυτού και συγκεκριμένα στη ρύθμιση της επιμήκυνσης των στελεχών.

2. Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων, που απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία στο εύρος των 680-780nm και σχετίζονται με την αύξηση της φωτεινότητας του χρώματος των φυτών, τη βελτίωση της ποιότητας και αύξηση της παραγωγής. Επίσης, σχετίζονται με την τροποποίηση του λόγου της ερυθρής (Red:630-680nm) προς την υπέρυθη ακτινοβολία στα φυτά. Η αύξηση του λόγου προκαλεί την ικανοποιητική μείωση του ύψους των φυτών, ώστε δεν είναι απαραίτητη η χρήση των χημικών ρυθμιστών ανάπτυξης (Phoenix et al., 2000).

3. Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων, που αντανakλούν την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία [Near Infrared (NIR): 780-3000nm] και σχετίζονται με το δροσισμό του θερμοκηπίου, μειώνοντας την θερμοκρασία έως 7°C στο εσωτερικό. Τα πλαστικά αυτά περιέχουν χρωστικές ουσίες, οι οποίες αντανakλούν επιλεκτικά ένα μέρος από την NIR ακτινοβολία,

η οποία όπως είναι γνωστό παράγει θερμότητα, αποτρέποντας την υπερβολική θέρμανση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

4. Φωτοεκλεκτικά πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων, που εγκλωβίζουν τη μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία [Far Infrared (FIR): 3000-5000nm] και σχετίζονται με τη θέρμανση του θερμοκηπίου τις ψυχρές νύχτες του χειμώνα. Η FIR είναι μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από το έδαφος και τα φυτά. Η προσθήκη επομένως, συγκεκριμένων ανόργανων συστατικών στο πλαστικό φύλλο κάλυψης μειώνει την απώλεια της FIR ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά 15-35% ώστε δεν είναι απαραίτητη η χρήση της θερμοκουρτίνας (Waaijenberg 2000).

Είναι γνωστό ότι μικρές διαφορές στη διαπερατότητα των υλικών στην ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι αύξηση της Φωτοσυνθετικά Ενεργού Ακτινοβολίας (PAR) κατά 1% αύξησε την παραγωγή τομάτας μεγάλης καλλιέργειας περίπου σε ποσοστό 1% (Pearson et al., 1995).

Μελετήθηκε η επίδραση φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης σε καλλιέργεια φράουλας. Τα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν έπαιρναν τιμές μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος κόκκινου/ μακρινού κόκκινου (R/ FR) ποσοστού. Η παραγωγή ανά φυτό ήταν 51% μεγαλύτερη στην καλλιέργεια που βρίσκονταν υπό την κάλυψη του υλικού που επέτρεπε τη διέλευση ακτινοβολίας (μάρτυρας) σε σύγκριση με τα φυτά τα οποία βρίσκονταν υπό την κάλυψη του υλικού που επέτρεπε τη διέλευση του μικρότερου ποσοστού ακτινοβολίας. Ο αριθμός των καρπών και ο μέσος όρος του βάρους των καρπών ανά φυτό ήταν χαμηλότεροι υπό την κάλυψη του υλικού που επέτρεπε τη διέλευση ακτινοβολίας (μάρτυρας) και υψηλότεροι υπό την κάλυψη του υλικού που επέτρεπε τη διέλευση του μικρότερου ποσοστού ακτινοβολίας. Επίσης τα φυτά που βρίσκονταν υπό την κάλυψη υλικού που επέτρεπε τη διέλευση μεγάλου ποσοστού κόκκινου και μακρινού κόκκινου φωτός είχαν μεγαλύτερη διάρκεια συγκομιδής και ήταν πιο συμπαγή σε σχέση με τα φυτά που μεγάλωναν υπό την κάλυψη υλικού που επέτρεπε τη διέλευση του μικρότερου ποσοστού κόκκινου και μακρινού κόκκινου φωτός (Fletcher et al 2002).

1.3.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΝ ΤΗ UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Εκτός από τα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων που αναφέρθηκαν έχουν παραχθεί και υλικά τα οποία εκτός από τις ιδιότητες που προαναφέρθηκαν παρέχουν και έλεγχο των εντόμων και των ασθενειών. Τα υλικά για τον έλεγχο των εντόμων και των ασθενειών απορροφούν τη UV ακτινοβολία επιτυγχάνοντας τη μείωση των πληθυσμών του θρίπα, των αφίδων και άλλων εντόμων στα θερμοκήπια, μειώνοντας έτσι και τους ιούς που μεταδίδονται από αυτά τα έντομα. Επίσης επιτυγχάνεται έλεγχος της εξάπλωσης ορισμένων ασθενειών (όπως ο βοτρυτής) μειώνοντας τη σποριοποίηση του παθογόνου αυτού μύκητα. Παράλληλα, με τη χρήση πλαστικών φύλλων κάλυψης που απορροφούν τη UV ακτινοβολία έχουμε μείωση του «μαυρίσματος» των κόκκινων πετάλων της τριανταφυλλιάς, αυξάνοντας έτσι την εμπορική αξία των προϊόντων (Antignus 2000).

Τα περισσότερα πλαστικά φύλλα πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των θερμοκηπίων περιέχουν ήδη συστατικά που δεσμεύουν τη UV ακτινοβολία που παρατείνουν τη διάρκεια των πλαστικών, χωρίς ταυτόχρονα να δημιουργούν προβλήματα στη διέλευση της Φωτοσυνθετικά Ενεργού Ακτινοβολίας (PAR). Τα πιο αποτελεσματικά από αυτά δεσμεύουν την υπεριώδη ακτινοβολία που εκπέμπεται στα 360nm ή και σε μικρότερο μήκος κύματος, επιτρέποντας τη διέλευση ενός ποσοστού της UV ακτινοβολίας που κυμαίνεται από 5 έως 15% ανάλογα με τον κατασκευαστή του πλαστικού (Costa et al. 2002).

Πλήθος ερευνών έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια και αφορά στις ιδιότητες των υλικών κάλυψης. Διαπιστώθηκε ότι τα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας υλικά μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην ολοκληρωμένη διαχείριση εχθρών και ασθενειών και επομένως στην εισαγωγή εναλλακτικών μεθόδων για μείωση της χρήσης των χημικών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας χωρίς υπολείμματα φυτοφαρμάκων, με όλα τα οφέλη που συνεπάγεται αυτό για την υγεία του καταναλωτή, αλλά και να συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης του οικοσυστήματος από όλα αυτά τα χημικά σκευάσματα που χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια.

Οι Antignus (2000), Monci et al (2004), Espi et al (2002), Leonardi et al (2004), González et al (2001) και Elad (1997) μελέτησαν την επίδραση των

πλαστικών φύλλων που απορροφούν τη UV ακτινοβολία στα έντομα. Συγκεκριμένα, ο Antignus (2000), παρατήρησε ότι σε tunnels και θερμοκήπια τα οποία ήταν καλυμμένα με διάφορα υλικά κάλυψης απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας μειώθηκαν οι προσβολές από έντομα όπως ο αλευρώδης (*Bemisia tabaci*), ο θρίπας (*Frankliniella occidentalis*), οι αφίδες (*Aphis gossypii*), τα leafminers (*Liriomyza trifolii*), και τα moths (*Laphigium* sp).

Επίσης, οι Monci et al (2004) παρατήρησαν μείωση του πληθυσμού *Bemisia tabaci* σε καλλιέργεια τομάτας υπό την κάλυψη απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία υλικών. Αυτή η μείωση του πληθυσμού συνέβαλλε στη σημαντική αύξηση της παραγωγής.

Οι Espi et al (2002) σε πειράματα που πραγματοποίησαν σε θερμοκήπια με υλικά κάλυψης απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας στην Ισπανία παρατήρησαν μείωση των προσβολών από θρίπα. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε σημαντική αύξηση της παραγωγής στις καλλιέργειες κάτω από αυτά τα υλικά κάλυψης.

Οι Leonardi et al (2004) σύγκριναν τρία υλικά κάλυψης (υλικό - απορροφητικό της UV ακτινοβολίας- για τον έλεγχο των εντόμων, φωτοεκλεκτικό υλικό και φύλλο πολυαιθυλενίου – μάρτυρας) σε καλλιέργεια τομάτας και από τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι η υψηλότερη παραγωγή σημειώθηκε στα θερμοκήπια υπό την κάλυψη του υλικού για τον έλεγχο των εντόμων. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι τα υλικά με επιλεκτική περατότητα στην ακτινοβολία επηρέασαν αρνητικά την παραγωγή των καρπών της τομάτας και την παραγωγή ξηρής ουσίας των φυτών σε σχέση με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου.

Επιπλέον, οι González et al (2001) χρησιμοποίησαν σε πείραμα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης και παρατήρησαν ότι υπό την κάλυψη λευκού πλαστικού που αποτελούνταν από τρία στρώματα σημειώθηκε ο χαμηλότερος πληθυσμός του θρίπα (*Frankliniella occidentalis*), ενώ ο χαμηλότερος πληθυσμός αλευρώδους (*Bemisia tabaci*, *trialeurodes vaporariorum*) καταγράφηκε υπό την κάλυψη του απορροφητικού στην υπεριώδη ακτινοβολία υλικού με θερμικό PE υλικό.

Μία άλλη ιδιότητα των υλικών κάλυψης απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας, είναι η παρεμπόδιση της σποριοποίησης του *Botrytis cinerea*. Η σποριοποίηση του *Botrytis cinerea* επηρεάζεται από το φως, άλλα μήκη κύματος την προωθούν και άλλα την παρεμποδίζουν. Το κοντινό υπεριώδες

(300-400nm) και το μακρινό κόκκινο (>720nm) προωθεί την παραγωγή κονιδίων ενώ το μπλε (380-530nm) την παρεμποδίζει. Το μακρινό κόκκινο προωθεί τη σποριοποίηση που παρεμποδίζεται από το μπλε. Το κόκκινο (620-720nm), περιορίζει τη σποριοποίηση που έχει προωθηθεί από το μακρινό κόκκινο, αλλά δεν επηρεάζει τη σποριοποίηση σε καλλιέργειες που έχουν εκτεθεί στο κοντινό υπεριώδες. Επίσης έχει βρεθεί ότι υλικά κάλυψης απορροφητικά της υπεριώδους μείωσαν τη σποριοποίηση και τις προσβολές από *Botrytis cinerea* και αποδείχτηκε ότι το μήκος κύματος 300-340nm προωθεί τη σποριοποίηση του *Botrytis cinerea*. Η ποιότητα του φωτός επίσης επηρεάζει τη σποριοποίηση του *Botrytis squamosa* και του *Botrytis fabae*.

Ο Elad (1997) σε πείραμα που πραγματοποίησε, σε καλλιέργειες τομάτας και αγγουριού, που καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπια με υλικά κάλυψης από πολυαιθυλένιο (PE) που περιείχαν συστατικά που αντανakλούν τη IR και απορροφούν τη UV (τριαζόλη) αλλά διαφέρουν στο ότι ένα υλικό κάλυψης ήταν χρωματισμένο ελαφρό πράσινο (απομάκρυνε τα 580-800nm), το δεύτερο ήταν χρωματισμένο ελαφρό μπλε και το τρίτο δεν ήταν χρωματισμένο, παρατήρησε ότι οι πληθυσμοί του *Botrytis cinerea* ήταν σημαντικά μικρότεροι στο ελαφρώς πράσινο χρωματισμένο υλικό κάλυψης, δηλαδή σ' αυτό που ήταν απορροφητικό της UV ενισχυμένο με συστατικά που απομάκρυναν το μακρινό κόκκινο.

Οι Monci et al (2002), González et al (2004), Espi et al (2002) και Antignus (2000) μελέτησαν την επίδραση των πλαστικών φύλλων που απορροφούν τη UV ακτινοβολία στους ιούς. Οι Monci et al (2002), σε πείραμα που πραγματοποίησαν στη Νότια Ισπανία σε καλλιέργεια τομάτας υπό την κάλυψη απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία υλικών παρατήρησαν μείωση της TYLCD (Tomato Yellow Leaf Curl Disease) που προέρχεται από τους ιούς TYLCV και TYLCSV. Η μείωση αυτή οδήγησε σε σημαντική αύξηση της παραγωγής της τομάτας.

Οι González et al (2004) μελέτησαν την επίδραση των απορροφητικών στην υπεριώδη ακτινοβολία υλικών κάλυψης. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνταν από τρία στρώματα ήταν της Repsol YPF και παρατηρήθηκε ότι επιδρούν στην ανάπτυξη των εντόμων ή των ασθενειών που προκαλούνται από μύκητες ή ιούς και μεταδίδονται με τα έντομα που επηρεάζονται από τη μείωση ή απουσία αυτού του είδους ακτινοβολία. Μειώνοντας μέσω της χρήσης αυτών των υλικών τους πληθυσμούς των

εντόμων, επιτυγχάνεται και υψηλότερη παραγωγή σε σχέση με τα κανονικά υλικά κάλυψης που αποτελούνται από ένα μόνο στρώμα.

Οι Espi et al (2002) παρατήρησαν μείωση ενός από του σοβαρότερου ιού της τομάτας, του TYLCV, που μεταδίδεται με τον αλευρώδη (*Bemisia tabaci*) σε θερμοκήπια με υλικά κάλυψης απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Ο Antignus (2000) παρατήρησε ότι με τη χρήση υλικών κάλυψης απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας ο ιός TYLCV στην τομάτα βρέθηκε σε ποσοστό 1% ενώ χωρίς τη χρήση αυτών των υλικών αλλά με έλεγχο του πληθυσμού βρέθηκε σε ποσοστό 80%. Επιπλέον, με τη χρήση υλικών κάλυψης απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας παρατήρησε μείωση κατά 70% του ιού CYSDV στο πεπόνι. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι τα παραπάνω υλικά κάλυψης είναι αποτελεσματικά και εναντίον του ιού ZYMV που μεταδίδεται από τις αφίδες.

Οι Tezuka et al (1993), παρατήρησαν ότι φυτά τομάτας και ρεπανιού που εκτίθενται στη UVA ακτινοβολία (400-320nm) παρουσίασαν μεγαλύτερη αύξηση από αυτά που δεν εκτέθηκαν στην UV ακτινοβολία. Η αύξηση των φυτών τομάτας υπό τη UVA ακτινοβολία σχετίζεται με την αύξηση της χλωροφύλλης και της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών. Η επίδραση της UVA ακτινοβολίας καθυστέρησε το γηρασμό των φύλλων της τομάτας και του ρεπανιού.

Οι Rajapakse et al (2001) από πείραμα που πραγματοποίησαν παρατήρησαν ότι τα απορροφητικά στο μακρινό κόκκινο φως (Far Red, FR) υλικά κάλυψης δρουν αποτελεσματικά στη μείωση του ύψους ενός εύρους φυτών όπως το καρπούζι και το αγγούρι. Το γεγονός αυτό συμβάλλει στη μείωση της χρησιμοποίησης χημικών για τον έλεγχο του ύψους των φυτών στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Shiozaki & Tezuka σε φυτά μελιτζάνας (*Solanum merongena* L.) που καλλιεργήθηκαν σε δύο πλαστικά πλαίσια καλυμμένα με πολυβινυλοχλωρίδιο, που είχαν διαπερατότητα στη UV ακτινοβολία, το ένα πάνω από τα 290nm και το δεύτερο πάνω από 400nm (δηλαδή απουσία της UV) αντίστοιχα, αποδείχθηκε ότι η ηλιακή υπεριώδους ακτινοβολία που φτάνει στη επιφάνεια της γης, μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών μελιτζάνας. Κρίνοντας από τις μορφολογικές παρατηρήσεις στο πείραμα, η επιμήκυνση των βλαστών των φυτών με UV

ακτινοβολία, παρεμποδίστηκε στα αρχικά στάδια ανάπτυξης (περίπου ένα μήνα μετά τη σπορά), συγκρινόμενα με αυτά χωρίς UV ακτινοβολία. Όμως, η ανάπτυξη των φυτών με UV ακτινοβολία προάχθηκε κάπως, στα επόμενα στάδια (τρεις μήνες μετά τη σπορά) και η γήρανση των φύλλων σ' αυτά τα φυτά καθυστέρησε συγκριτικά με αυτά χωρίς UV ακτινοβολία. Επιπλέον, στα φυτά χωρίς UV, παρεμποδίστηκε ο χρωματισμός, δηλαδή η σύνθεση ανθοκυανών, ενώ ο μεταβολισμός του άνθρακα, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή, ο μεταβολισμός του αζώτου και τα επίπεδα πρωτεΐνης, αυξήθηκαν με την παρουσία της UV ακτινοβολίας.

Τέλος, οι Shiozaki et al (1999) μελέτησαν τις επιδράσεις κοντά στην υπεριώδη ακτινοβολία (300-400nm) σε καλλιέργεια αρακά (*Pisum sativum*) και παρατήρησαν τα εξής: αύξηση του μήκους και του χλωρού βάρους των φυτών, αύξηση της καθαρής φωτοσύνθεσης και της αναπνοής, καθώς επίσης και αύξηση των φλαβονοειδών στις ρίζες κατά 46%.

1.4. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην ανασκόπηση που έγινε παρουσιάστηκε η επίδραση των UV απορροφητικών υλικών κάλυψης στα έντομα, τους ιούς και τις ασθένειες. Παρ'όλα αυτά δεν έχει μελετηθεί ακόμη πλήρως η επίδραση των υλικών αυτών στην ανάπτυξη των καλλιεργειών υπό κάλυψη. Έτσι, σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των απορροφητικών της UV ακτινοβολίας υλικών κάλυψης στη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

Μελετήθηκαν οι επιδράσεις δύο πλαστικών φύλλων κάλυψης. Στο πρώτο επιτρεπόταν η διέλευση του 20,1% της UVA ακτινοβολίας και του 12,4% της UVB ακτινοβολίας (πλαστικό φύλλο – μάρτυρας) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και στο δεύτερο επιτρεπόταν η διέλευση του 0,4% της UVA ακτινοβολίας και του 1,1% της UVB ακτινοβολίας.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η ανάπτυξη και παραγωγή ενός φυτού εξαρτώνται από το κληρονομικό δυναμικό του, δηλαδή το είδος και την ποικιλία ή το υβρίδιο, καθώς και από το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα αναπτυχθεί. Το περιβάλλον θερμοκηπίου το συνιστούν όλα τα φυσικά μεγέθη του θερμοκηπίου που επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών. Για ένα συγκεκριμένο κληρονομικό δυναμικό υπάρχει πάντα ένα βέλτιστο περιβάλλον το οποίο επιτρέπει στους χαρακτήρες του φυτού που προσδιορίζονται από το κληρονομικό δυναμικό να αναπτυχθούν στον καλύτερο δυνατό βαθμό, π.χ. αν με την καλλιέργεια επιδιώκεται η παραγωγή καρπών, τότε το βέλτιστο περιβάλλον αποσκοπεί στο μέγιστο της παραγωγής καρπών με το μικρότερο δυνατό κόστος.

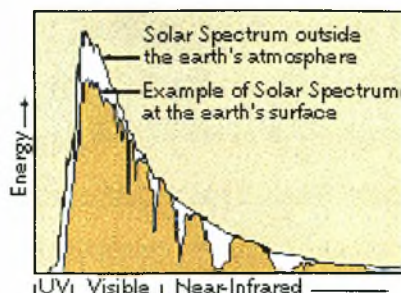
Οι παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν καθοριστικά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στο θερμοκήπιο είναι κυρίως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και το CO₂ (Μαυρογιανόπουλος, 1994).

2.1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Με τον όρο ηλιακή ακτινοβολία ή ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε στην ακτινοβολία που παίρνει η γη από τον ήλιο. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι κατά το μεγαλύτερο της ποσοστό ηλεκτρομαγνητικής φύσης (περίπου 99%) και κατά το υπόλοιπο σωματιδιακής (Φλόκας 1997).

Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται το φάσμα εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας όπως λαμβάνεται στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας αλλά και στην επιφάνεια της γης.

Περίπου το 99% της ηλιακής ακτινοβολίας περιέχεται στην περιοχή μήκους κύματος από 300 – 3000nm. Η περιοχή του φάσματος που είναι ορατή στον άνθρωπο αποτελεί μόνο το 10% του συνολικού ηλιακού φάσματος. Η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία έχει μεγαλύτερη ενέργεια απ' ότι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (<http://www.eere.energy.gov/consumerinfo/factsheets/v 138.html>).



Εικόνα 2.1. Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας και στην επιφάνεια της γης. (<http://www.eppleylab.com/Intro.htm>)

Μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης α) απ' ευθείας με τις ηλιακές ακτίνες (άμεση ηλιακή ακτινοβολία), β) ανακλάται από το έδαφος, τα φυτά και τα διάφορα υλικά σταθερών επιφανειών, επιστρέφει στην ατμόσφαιρα και επιστρέφει πάλι στην επιφάνεια του εδάφους, κλπ (διάχυτη ακτινοβολία) (Φλόκας 1997).

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από διαφορετικά χρώματα, που εκτείνονται από το ιώδες έως το κόκκινο. Υπάρχουν όμως περισσότερα στοιχεία στην ακτινοβολία, εκτός από τα χρώματα που μπορούμε να βλέπουμε. Οι φωτεινές ακτίνες σχηματίζουν κύματα και μεταφέρουν ενέργεια.

Παρακάτω δίνεται η σύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας:

- υπεριώδης 200 – 390 nm
- ορατή 390 – 780 nm
- υπέρυθρη 780-100000 nm

(<http://www.eppleylab.com/Intro.htm>)

2.1.1.1. ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το υπεριώδες φως, το οποίο ονομάζεται και UV ακτινοβολία, αποτελεί μέρος του ηλιακού φάσματος και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μήκος κύματος του: το UVA εκτείνεται από 390 έως 320 nm, το UVB από 320 έως 290 nm, και το UVC από 290 έως 200 nm. Πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη ότι όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος, τόσο πιο επιβλαβής είναι η ενέργεια που μεταφέρει. Ευτυχώς η γη μας περιβάλλεται από μία προστατευτική ασπίδα αερίων που απορροφά την UVC ακτινοβολία και ένα ποσοστό της UVA και UVB ακτινοβολίας. Η υπεριώδης ακτινοβολία UVB και UVC είναι εξαιρετικά επιβλαβής για τους οργανισμούς, ενώ η ακτινοβολία UVA είναι η λιγότερο επιβλαβής από τις δύο προηγούμενες. Η UVB όμως επειδή απορροφάται από την ατμόσφαιρα, παρουσιάζει ενδιαφέρον διότι

μπορεί να επιφέρει πλήθος βλαβερών συνεπειών στα φυτά (Hollosy 2002). Είναι γνωστό επίσης ότι η υπεριώδης ακτινοβολία UVB παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ορισμένων μυκήτων (Kittas & Baille 1998).

Η επίδραση της UVB ακτινοβολίας στα φυτά περιλαμβάνει τη μείωση της ποιότητας και της παραγωγής τους, μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, του ύψους των φυτών, της φυλλικής επιφάνειας και της παραγωγής ξηρής ουσίας. Επίσης προκαλεί ευαισθησία σε ασθένειες, και αλλαγές στη δομή των φυτών και στη φυσική χρωμάτωση των ιστών (χρωστικές) (Tevini and Teramura 1989; Bornman 1989; Teramura and Sullivan 1991). Ορισμένα είδη παρουσιάζουν ευαισθησία στα υπάρχοντα επίπεδα της UVB ακτινοβολίας ενώ άλλα παραμένουν ανεπηρέαστα από τη UVB ακτινοβολία (Becwar et al. 1982).

Οι Kittas et al (2004) μελέτησαν την επίδραση της μείωσης της UV ακτινοβολίας στην αύξηση και ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Χρησιμοποίησαν τρία όμοια θερμοκήπια τα οποία ήταν καλυμένα με υλικά με διαφορετικό συντελεστή διαπερατότητας (μάρτυρας 5 %, 3 % και 0 %). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας προκάλεσε μικρή αύξηση του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων, αύξηση του αριθμού των κόμβων των φυτών και του ύψους τους καθώς επίσης και συνολική αύξηση της ξηράς ουσίας του φυτού. Επιπλέον, η μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας προκάλεσε αύξηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) γεγονός που συμβάλλει στη βελτίωση της διαδικασίας του φυσικού δροσισμού. Παράλληλα, παρατηρήθηκε ότι σε συνθήκες μειωμένης UV ακτινοβολίας δεν επηρεάστηκε η κίνηση των βομβύνων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την υποβοήθηση της γονιμοποίησης των φυτών.

Μελετήθηκε η επίδραση της UV (UVA: 315-400nm και UVB: 280-315nm) ακτινοβολίας στα μαστιγοφόρα *Euglena gracilis*. Στα μαστιγοφόρα όταν δεν εκτίθονταν στη UV ακτινοβολία το ποσοστό της φωτοσύνθεσης αυξάνονταν με την αύξηση του ποσοστού ροής των φωτονίων. Υπό την έκθεση όμως στη UV ακτινοβολία για 20 - 40 min, το ποσοστό της φωτοσύνθεσης μειώνονταν καθώς οι λειτουργίες του ποσοστού ροής των φωτονίων μειώνονταν (Ekelund 2000).

Σε ένα άλλο πείραμα όπου μελετήθηκε η επίδραση της UVB ακτινοβολίας σε φυτά αγγουριού (*Cucumis sativus* L.) παρατηρήθηκε ότι σε φυτά τα οποία εκτέθηκαν σε ακτινοβολία 5,5 και 10,6 KJ / m² και έπειτα υποβλήθηκαν σε

συνθήκες θερμικής καταπόνησης (46°C για 1h), η διάρκεια ζωής τους επιμηκύνθηκε κατά 112 και 82% αντίστοιχα και το ύψος των φυτών αυξήθηκε κατά 35 και 40% αντίστοιχα, σε σχέση με τα φυτά που δεν εκτέθηκαν στη UVB ακτινοβολία. Επίσης, έκθεση των φυτών σε ακτινοβολία 3,4 και 5,5 KJ / m² επιμήκυνε τη διάρκεια ζωής των σπορόφυτων αγγουριού και προήγαγε την ανάπτυξη τους (Teklemarian & Blake 2003).

Η επίδραση της UVB ακτινοβολίας μελετήθηκε σε έλαιο που εκχυλίστηκε από φύλλα βασιλικού (*Ocimum basilicum*). Με την επίδραση της UVB ακτινοβολίας μειώθηκε η ποσότητα του βασικού συστατικού του ελαίου μεθυλευγενόλη, ουσία που προκαλεί ανησυχία για τη δημόσια υγεία εξ' αιτίας της ομοιότητας της με την καρκινογόνο εστραγόλη (Nitz & Schnitzer 2004).

Οι Heuberger et al (2004), μελέτησαν την επίδραση της UVB ακτινοβολίας στο σπανάκι. Συγκρίθηκαν φυτά που ακτινοβολήθηκαν με δόσεις 1, 2 και 6 KJ m⁻²d⁻¹ UVB ακτινοβολίας, και φυτά που ακτινοβολήθηκαν με PAR. Στα φυτά που ακτινοβολήθηκαν με δόσεις 1 και 2 KJ m⁻² d⁻¹ της UVB ακτινοβολίας παρατηρήθηκε βελτίωση της αύξησης των φυτών και αύξηση της παραγωγής πολύτιμων δευτερευόντων ουσιών. Επίσης, παρατηρήθηκε αύξηση της βιομάζας με αύξηση των δόσεων της UVB ακτινοβολίας (1, 2, και 6 KJ m⁻²d⁻¹) καθώς επίσης και στα φυτά που ακτινοβολήθηκαν με PAR. Σημειώθηκε αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών που ακτινοβολήθηκαν με PAR και δόσεις UVB ακτινοβολίας 1 και 2 KJ m⁻²d⁻¹, ενώ παρατηρήθηκε μείωση σε δόσεις UVB ακτινοβολίας 6 KJ m⁻²d⁻¹. Τέλος, αυξήθηκε η αντιοξειδωτική ικανότητα των φυτών υπό την επίδραση της UVB ακτινοβολίας ενώ παρατηρήθηκε μείωση στα φυτά υπό την επίδραση της PAR (Heuberger et al 2004).

Η επίδραση της UVB ακτινοβολίας στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών ποικίλλει ανάλογα με την εποχή και επηρεάζεται από το μικροκλίμα και τη γονιμότητα του εδάφους (Teramura 1983).

2.1.1.2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΦΥΤΑ

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών, καθώς και τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου. Με τη φωτοσύνθεση δεσμεύεται η φωτεινή ακτινοβολία στους υδατάνθρακες, οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούν το καύσιμο που δίνει ενέργεια σε κάθε ζωντανό οργανισμό.

Όταν όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση, όπως η φωτεινή ακτινοβολία, το CO₂, η θερμοκρασία και το νερό βρίσκονται στο άριστο επίπεδο, τότε και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (άρα και η ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών) βρίσκεται στο ανώτερο δυνατό επίπεδο. Αν ένας από αυτούς τους παράγοντες μειωθεί, τότε η φωτοσυνθετική δραστηριότητα και η ανάπτυξη των φυτών μειώνεται. Αν ένας από τους παραπάνω παράγοντες αυξηθεί πάνω από το άριστο, πάλι μειώνεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Μαυρογιανόπουλος 1994).

Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στη φωτοσύνθεση είναι από 400 έως 700nm και το φως αυτό καλείται Φωτοσυνθετικά Ενεργός Ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation, PAR). Περίπου 85-90% της PAR απορροφάται από το φύλλο. Η υπόλοιπη είτε ανακλάται στην επιφάνεια του φύλλου ή διέρχεται μέσω του φύλλου (Τσέκος 2003).

Η περιοχή στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (ακτινοβολία κοντά στο ερυθρό 0,7-1,0μ) είναι σπουδαία για την επιμήκυνση και τις άλλες μορφογενετικές διαδικασίες των φυτών. Ισχυρή όμως επίδραση στις μορφογενετικές διαδικασίες έχει η ακτινοβολία στην περιοχή του μπλε (0,4-0,5μ) (Μαυρογιανόπουλος 1994).

Στο σκοτάδι δεν έχουμε καμία φωτοσυνθετική δραστηριότητα, αντίθετα έχουμε αναπνευστική. Συνεπώς το παραγόμενο CO₂ από την αναπνοή, ελευθερώνεται δια μέσου των φύλλων. Με την αύξηση της έντασης του φωτός φτάνουμε σε ένα σημείο, όπου η ποσότητα του CO₂ που προσλαμβάνεται για τη φωτοσύνθεση και αυτή που απελευθερώνεται από την αναπνοή είναι ίσες. Καθώς όμως η ένταση του φωτός αυξάνει, αντίστοιχα αυξάνει και η φωτοσυνθετική απόδοση του φυτού. Φυσικά αυτό συμβαίνει μέχρι κάποια ένταση, πέρα από την οποία η φωτοσύνθεση παραμένει σταθερή (Καραταγλής 1999).

Για να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες σε φωτεινή ενέργεια για τη φωτοσύνθεση των περισσότερων λαχανοκομικών φυτών και των δρεπτικών ανθέων, θα πρέπει να υπάρχει ένταση περίπου 210 Watt/m² στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο. Στην περίπτωση που ένα θερμοκήπιο από την κατασκευή του μειώνει την είσοδο του φωτός κατά 50%, υπάρχει η επιθυμητή φωτεινή ένταση μέσα, μόνο όταν έξω προσπίπτουν 420 Watt/m² (Μαυρογιαννόπουλος 1994).

Η διάρκεια του φωτισμού έχει πολύ σημαντική επίπτωση στην ποσότητα των παραγόμενων από τη φωτοσύνθεση προϊόντων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια φωτισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια για τη φωτοσύνθεση. Η παραγωγή αυξάνει όσο αυξάνεται η διάρκεια του φωτισμού, μέχρι 16 ώρες το εικοσιτετράωρο (Μαυρογιανόπουλος 1994).

2.1.2. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει την πιο πολύπλοκη επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, γιατί επηρεάζει σχεδόν όλες τις λειτουργίες του φυτού όπως: φωτοσύνθεση [και επομένως την ανάπτυξη, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, το πάχος του βλαστού, τη σχέση βλαστού-ρίζας, το σχηματισμό των ταξιανθιών, τον αριθμό των ανθέων, την παραγωγή και βιωσιμότητα της γύρης, την καρπόδεση και ανάπτυξη του καρπού, την ποιότητα του καρπού κ.α.) (Ολύμπιος 2001), την αναπνοή, τη διαπνοή, τη μεταφορά και κατανομή των μεταβολιτών (Μαυρογιανόπουλος 1994)].

Με κατάλληλο φωτισμό η φωτοσυνθετική απόδοση αυξάνει με την αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας. Τελικά φτάνει ένα μέγιστο, πέρα από το οποίο η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί ελάττωση της απόδοσης, η οποία τελικά σταματά, όταν η αύξηση φθάσει το μέγιστο (Καραταγλής 1999).

Από τη θερμοκρασία εξαρτάται η αγωγιμότητα του φύλλου για τη μεταφορά του CO₂ κατά τη φωτοσύνθεση. Σε πείραμα βρέθηκε ότι η αγωγιμότητα του φύλλου για τη μεταφορά του CO₂ κατά τη φωτοσύνθεση αυξάνεται μη γραμμικά με αύξηση της θερμοκρασίας σε συγκέντρωση CO₂ από 350-1000μl/l. Επίσης βρέθηκε, ότι η θερμοκρασία επηρεάζει βιοχημικές διαδικασίες μέσω της δράσης της Rubisco. Καταπονήσεις όπως υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες μεταβάλλουν την αποτελεσματικότητα της αξιοποίησης του φωτός από τα φύλλα. Σε θερμοκρασίες όμως μεγαλύτερες των 20°C η αποτελεσματικότητα της αξιοποίησης του φωτός από τα φύλλα είναι σταθερή (Pachepsky & Acock 1994).

Η ταχύτητα εμφάνισης καινούριων οργάνων, επομένως και η ταχύτητα ανάπτυξης και κατά συνέπεια η πρωιμότητα, αυξάνουν με τη θερμοκρασία μέχρι ενός ορίου.

Ο φώσφορος σύμφωνα με μελέτες δεν μπορεί να απορροφηθεί από το φυτό της τομάτας, αν η θερμοκρασία στην περιοχή της ρίζας είναι μικρότερη από

14°C. Συχνά το χειμώνα, ενώ η θερμοκρασία βρίσκεται σε άριστα επίπεδα, η έλλειψη φωτός αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης και παραγωγής. Η θερμοκρασία και το φως είναι ισχυρώς αλληλένδετα και είναι δύσκολο να ξεχωρίσει κανείς τα αποτελέσματα του καθενός. Για να έχουμε θετικό αποτέλεσμα στην αύξηση και παραγωγή των φυτών, θα πρέπει η θερμοκρασία να δρα έτσι ώστε το αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης να είναι μεγαλύτερο από το αποτέλεσμα της αναπνοής, ειδάλλως τα φυτά θα καταστραφούν.

Τη νύχτα που δεν υπάρχει φωτοσύνθεση, η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από αυτή της ημέρας για να μειωθεί ο ρυθμός της αναπνοής, δεν θα πρέπει όμως να είναι πολύ χαμηλή, γιατί τότε θα παρεμποδίζεται η μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων στα αυξητικά κέντρα και τα κέντρα αποθησαυρισμού.

Για να έχουμε το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα, η θερμοκρασία που δημιουργείται στο χώρο του θερμοκηπίου θα πρέπει να δίνει τη μεγαλύτερη διαφορά εσόδων (από την αυξημένη παραγωγή της φωτοσύνθεσης) και εξόδων (από την κατανάλωση της αναπνοής και του καυσίμου για την επίτευξη της θερμοκρασίας).

Γενικά υψηλή μέση θερμοκρασία έχει αποτέλεσμα τη γρήγορη ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας και των ανθέων, με συνέπεια την πρωϊμότερη παραγωγή, αλλά συχνά σε μεγάλης διάρκειας καλλιέργεια, χαμηλότερη σε συνολικό όγκο. Σχετικά με τις τιμές της νυχτερινής θερμοκρασίας, πειραματικά αποτελέσματα σε φυτά τομάτας από τους Slack και Calvert (1978) έδειξαν ότι με την αύξηση της νυχτερινής θερμοκρασίας αυξάνει η πρώιμη παραγωγή, αλλά αργότερα η παραγωγή των φυτών αυτών μειώνεται (Μαυρογιανόπουλος 1994). Τόσο στις ψηλές όσο και στις χαμηλές θερμοκρασίες, τα στόματα κλείνουν και συνεπώς περιορίζουν τη φωτοσύνθεση (Καραταγλής 1999).

2.1.3. ΥΓΡΑΣΙΑ

Η διατήρηση ενός κατάλληλου περιβάλλοντος υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη όχι μόνο για τη διατήρηση της υδρικής ισορροπίας των φυτών, μέσω της διαπνοής, αλλά και για λόγους θρέψεως και για την αποφυγή εκτεταμένης ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών, εντόμων και ακάρεων (Μαυρογιανόπουλος 1994). Η ρύθμιση και ο έλεγχος της υγρασίας δεν μπορεί να γίνει ανεξάρτητα από τις άλλες παραμέτρους

(θερμοκρασία, ακτινοβολία) (Κίττας 1994). Ο μηχανισμός της αντιδράσεως των φυτών στην αύξηση της θερμοκρασίας τους είναι η ένταση της λειτουργίας της διαπνοής. Το μέσο για τη μείωση ή αύξηση του ρυθμού της διαπνοής στο θερμοκήπιο είναι η αύξηση ή μείωση της σχετικής υγρασίας του χώρου (Μαυρογιανόπουλος 1994). Η άριστη επιθυμητή υγρασία της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 60-70% Σ.Υ. (Ολύμπιος 2001).

Η φωτοσυνθετική απόδοση μειώνεται με την έλλειψη του νερού. Η έλλειψη νερού μπορεί να αναστείλει τη φωτοσύνθεση με α) την ελάττωση της επιφάνειας των φύλλων, β) το κλείσιμο των στομάτων και γ) την ελάττωση της υδάτωσης του πρωτοπλάσματος.

Σε χαμηλή υγρασία η φωτοσύνθεση μειώνεται γρήγορα, όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια των φύλλων φτάσει τους 15°C. Όταν όμως η υγρασία του αέρα είναι ψηλή, τότε δεν έχουμε καμία σοβαρή μείωση της φωτοσυνθετικής απόδοσης μέχρι τη θερμοκρασία των 25°C (Καράταγλης, 1999).

Οι Holder και Cockshull (1988) αναφέρουν ότι σε νεαρά φυτά τομάτας που αναπτύσσονται σε περιβάλλον σχετικής υγρασίας 95% δημιουργείται έλλειψη ασβεστίου, που εκδηλώνεται με περιφερειακή ξήρανση των φύλλων. Αυτό αποδίδεται στη μειωμένη διαπνοή και επομένως μικρότερη μετακίνηση του ασβεστίου στο φυτό, που έχει ως συνέπεια και τη δημιουργία μικρότερων φύλλων. Τούτο οδηγεί σε μικρότερη παραγωγή λόγω μικρότερης επιφάνειας φυλλώματος.

Στην καλλιέργεια της τομάτας τις πρωινές ώρες ιδιαίτερα τις συννεφιασμένες μέρες, επιδιώκεται να αυξηθεί η διαπνοή του φυτού με μείωση της σχετικής υγρασίας του χώρου.

Στο θερμοκήπιο όλοι οι παράγοντες που ευνοούν τη διαπνοή ενεργούν ταυτόχρονα το μεσημέρι, διότι τότε τα φύλλα έχουν την υψηλότερη θερμοκρασία, ο αέρας έχει τη χαμηλότερη σχετική υγρασία και ταυτόχρονα υπάρχει έντονη κίνηση του αέρα, διότι τα παράθυρα είναι ανοικτά. Κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών υπάρχει ανάγκη να αυξηθεί η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου (Μαυρογιανόπουλος 1994).

2.1.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στον αέρα επηρεάζει, εκτός από τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, και τη μορφογένεση στα φυτά. Παρατηρείται ακόμη ότι η αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ στο χώρο του θερμοκηπίου επιδρά ευνοϊκά στην αύξηση των αποδόσεων ορισμένων καλλιεργειών, ακόμα και κάτω από περιορισμένες συνθήκες φωτός (Μαυρογιανόπουλος 1994).

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι στη συγκέντρωση CO₂ που περιβάλλει τα φυτά αλλά και σε υψηλή συγκέντρωση CO₂, η αποτελεσματική αξιοποίηση του φωτός από τα φύλλα του φυτού ήταν σταθερή. Συγκεκριμένα σε συγκέντρωση CO₂ 100μl/l το φυτό αξιοποιούσε το φως στο μισό σε σχέση με τη συγκέντρωση CO₂ στα 350, 700, 1000μl/l. Επίσης βρέθηκε ότι από τη συγκέντρωση του CO₂ εξαρτάται και η αγωγιμότητα του φύλλου για τη μεταφορά της συγκέντρωσης του CO₂ και συγκεκριμένα βρέθηκε ότι αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του CO₂ (Pachepsky & Acock 1994).

Πειραματικά αποδείχθηκε ότι με αύξηση του CO₂, το ποσοστό ανταλλαγής CO₂ αυξήθηκε εξ' αιτίας της αύξησης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του φυτού που προήλθε από την ικανότητα αναπαραγωγής ορθοφωσφορικού άλατος (Sage et al 1989).

Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂, τόσο πιο έντονη είναι η φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών για μία συγκεκριμένη ένταση φωτισμού. Παρ' όλ' αυτά πολύ υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ προκαλούν κλείσιμο των στομάτων συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της πρόσληψης του CO₂. Η μικρή συνεπώς περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ ενεργεί ως περιοριστικός παράγοντας φωτοσύνθεσης. Τα φυτά αν και φωτοσυνθέτουν για πολύ λίγο χρόνο στη διάρκεια της ημέρας, ωστόσο φωτοσυνθέτουν σε άριστο για αυτά φως και σε υψηλή συγκέντρωση CO₂ (Καραταγλής 1999).

Τα φυτά έχουν την ικανότητα να αυξάνουν το ρυθμό της ανάπτυξης και την παραγωγή τους με μεγαλύτερη συγκέντρωση CO₂. Η ανάπτυξη των φυτών σταματά σε ελάχιστη συγκέντρωση CO₂ που ποικίλλει από φυτό σε φυτό. Στα φυτά του θερμοκηπίου συμβαίνει γύρω στην τιμή 125 ppm (Μαυρογιανόπουλος 1994).

2.2. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ

Η τομάτα *Lycopersicum esculentum* ανήκει στην οικογένεια Solanaceae με 2n=24 (Ολύμπιος 2001). Η τομάτα κανονικά είναι φρούτο αλλά λόγω του

τρόπου που χρησιμοποιείται συγκαταλέγεται στα λαχανικά όπως συμβαίνει και με το κολοκύθι, αγγούρι, μελιτζάνα και πιπεριά. Είναι κατά κανόνα ετήσιο λαχανικό και καλλιεργείται για τον καρπό της, ο οποίος καταναλώνεται ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, σε άλμη, ακέραιος ή σε πολτό.

Μεταξύ των λαχανικών η τομάτα καταναλώνεται σήμερα σε τέτοιες ποσότητες που σχεδόν σε όλες τις χώρες έρχεται δεύτερη μετά την πατάτα. Σήμερα η τομάτα καλλιεργείται στην ύπαιθρο και σε θερμοκήπια παντού στον κόσμο και καταναλώνεται όλο το χρόνο, συμμετέχοντας στην καθημερινή διαίτα του ανθρώπου (Ανώνυμος 2002).

Οι λόγοι που καθιστούν την τομάτα δημοφιλές λαχανικό είναι πολλοί. Οι σπουδαιότεροι είναι ότι εφοδιάζει τον ανθρώπινο οργανισμό με βιταμίνες (κυρίως C), έχει ελκυστικό χρώμα και ιδιαίτερο άρωμα, γεγονός που την καθιστά αρεστή στη διατροφή (Ολύμπιος 2001).

Παρά το γεγονός ότι σήμερα η τομάτα είναι από τα δημοφιλέστερα λαχανικά, μπήκε στη ζωή του ανθρώπου πρόσφατα. Μέχρι τα τέλη του 18^{ου} αιώνα για πολλούς λαούς ήταν άγνωστη ή τη θεωρούσαν δηλητηριώδη λόγω των αλκαλοειδών που περιέχει στα φύλλα και τους καρπούς άλλων μελών της ίδιας οικογένειας και την καλλιέργησαν περισσότερο στους κήπους ως καλλωπιστικό φυτό.

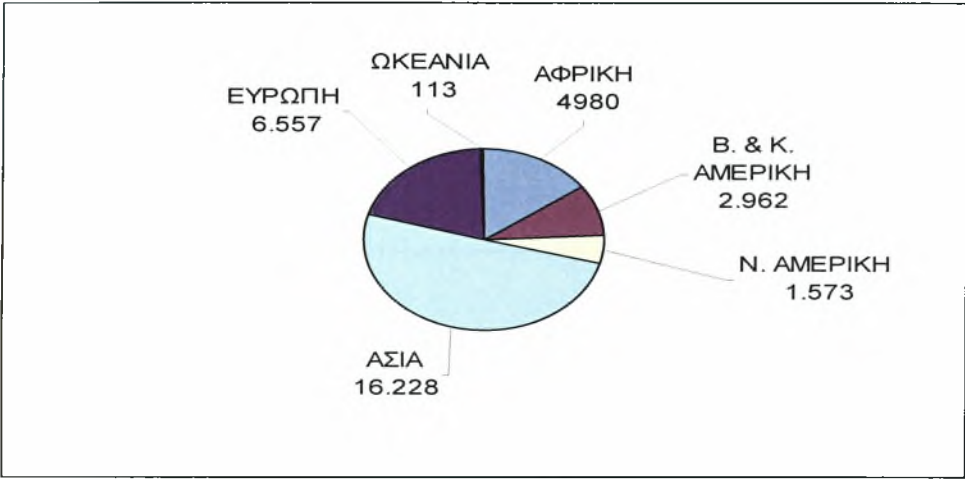
Ο τόπος καταγωγής της τομάτας πιστεύεται ότι είναι η Νότια Αμερική (ιδιαίτερα το Περού). Σύμφωνα με όλα τα στοιχεία, από το Περού η άγρια τομάτα μεταφέρθηκε, μάλλον ως ζιζάνιο, με σπόρους καλαμποκιού, στην Κεντρική Αμερική, ιδιαίτερα στο Μεξικό, όπου άρχισε η καλλιέργεια και η χρήση της (Ανώνυμος 2002).

Από το Μεξικό μέσω των Ισπανών εξερευνητών, η τομάτα ήρθε στην Ευρώπη το 16ο αιώνα. Στην Ελλάδα η εισαγωγή της έγινε αρχικά στην Αθήνα περίπου το 1818 (Ολύμπιος 2001). Το *Lycopersicon esculentum* και οι στενοί συγγενείς, είναι γενικά αυτογονιμοποιούμενα είδη. Σύμφωνα με τον Rick (1950), σταυρογονιμοποιούνται στις περιοχές όπου αυτοφύονται και σε μερικές άλλες υποτροπικές περιοχές, αλλά σε άλλα μέρη αυτογονιμοποιούνται πλήρως (Ολύμπιος 2001).

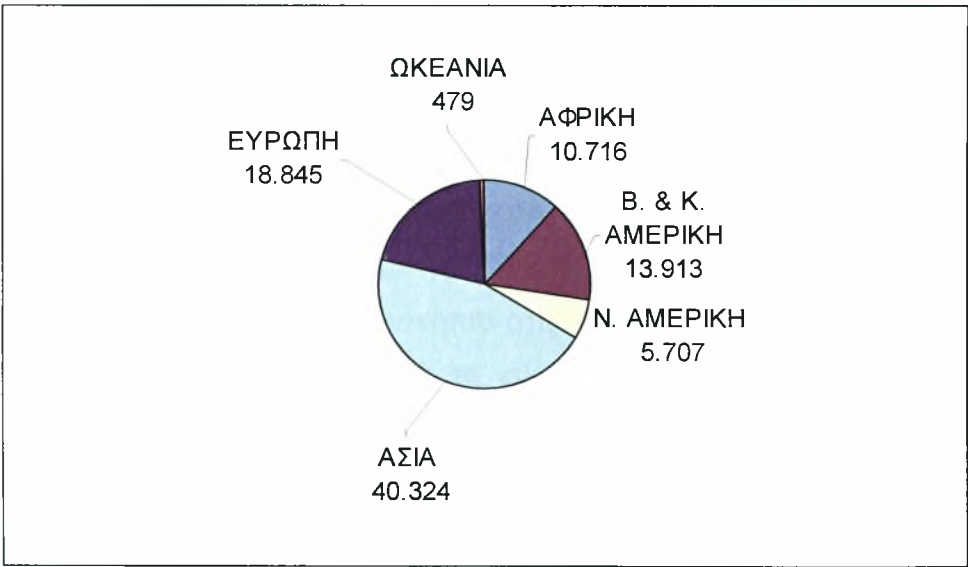
2.2.1. ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Η τομάτα καλλιεργείται σχεδόν σε όλα τα μήκη και πλάτη του κόσμου. Σύμφωνα με τις στατιστικές της F.A.O. η παγκόσμια κατά ηπείρους έκταση

καλλιέργειας και παραγωγή δίνεται στις Εικόνες 2.2 και 2.3 αντίστοιχα. Τη μεγαλύτερη έκταση καλλιέργειας της τομάτας σύμφωνα με την Εικόνα 2.2 καταλαμβάνει η Ασία και ακολουθούν η Ευρώπη, η Αφρική και η Αμερική. Η μεγαλύτερη παραγωγή σύμφωνα με την Εικόνα 2.3 παρατηρείται στην Ασία, την Ευρώπη και την Αμερική.

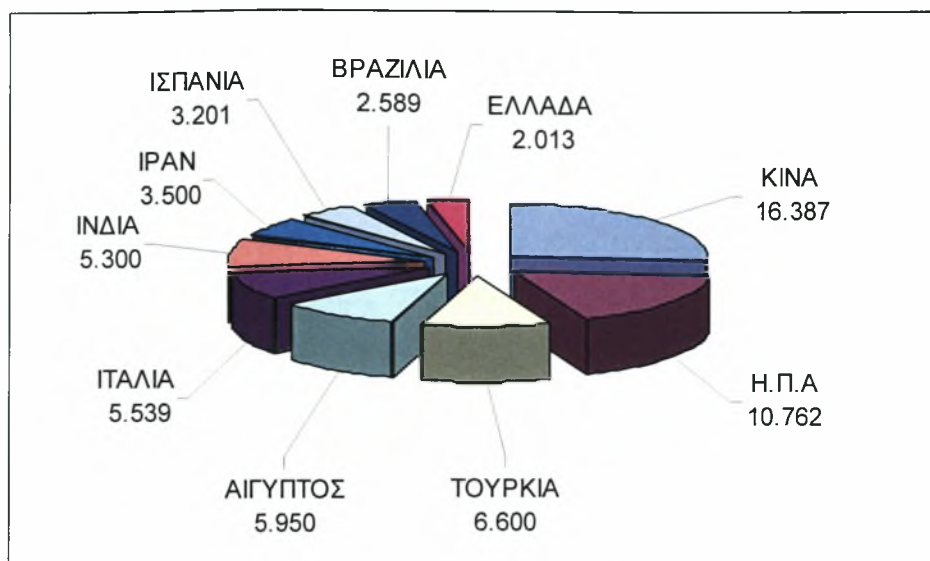


Εικόνα 2.2. Εξάπλωση ⁽¹⁾ τομάτας κατά ηπείρους σε 10³ στρ.



Εικόνα 2.3. Παραγωγή ⁽¹⁾ τομάτας κατά ηπείρους σε 10³ τόν.

Οι κυριότερες χώρες παραγωγής τομάτας σύμφωνα με την Εικόνα 2.4 είναι η Κίνα και η Η.Π.Α και ακολουθούν η Τουρκία και η Αίγυπτος.



Εικόνα 2.4. Κυριότερες χώρες παραγωγής ⁽¹⁾ τομάτας σε 10³ τον.

ΠΗΓΗ: FAO, Production Yearbook (1998)

(1) περιλαμβάνει την έκταση και παραγωγή τόσο της υπαίθριας καλλιέργειας (νωπή και βιομηχανική) όσο και της καλλιέργειας υπό κάλυψη.

2.2.2. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

2.2.2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η τομάτα είναι φυτό που καλλιεργείται κατά τη θερμή περίοδο του έτους και απαιτεί χρονική περίοδο διάρκειας τουλάχιστον 3-4 μηνών, από τη σπορά μέχρι την έναρξη της συγκομιδής.

Οι θερμοκρασίες στο θερμοκήπιο στην καλλιέργεια τομάτας δεν πρέπει να κατέρχονται κάτω των 13,5°C τη νύκτα, γιατί τότε μειώνεται σημαντικά η ανάπτυξη του φυτού και η φυσιολογική καρπόδεση, έστω και αν την ημέρα οι θερμοκρασίες είναι υψηλές, πάντως όχι μεγαλύτερες των 27°C, γιατί και πάλι μειώνονται η ζωηρότητα του φυτού, η παραγωγή και η ποιότητα των καρπών. Επιπλέον, η θερμοκρασία δεν θα πρέπει να ξεπερνά τους 30°C, γιατί τότε προκαλείται ανθόρροια (Ολύμπιος 2001). Οι θερμοκρασίες κατά τη νύχτα δε θα πρέπει να ανυψώνονται πολύ για να μην αυξάνεται υπερβολικά το φαινόμενο της αναπνοής και της κατανάλωσης ουσιών που συνδέονται άρρηκτα με αυτήν (Κίττας 2001).

Συμπερασματικά για την Ελλάδα, τους χειμερινούς μήνες θα μπορούσε «χονδρικά» να συνιστάται θερμοκρασία νύκτας γύρω στους 15°C και

θερμοκρασία ημέρας γύρω στους 21°C. Η διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύκτας δεν πρέπει να ξεπερνά τους 5-7°C (Ολύμπιος 2001).

Η καρπόδεση, στις περισσότερες ποικιλίες, γίνεται καλύτερα στους 16-22°C, ενώ δεν μπορεί να γίνει σε θερμοκρασίες άνω των 30-35°C και επίσης κάτω των 10-15°C λόγω σχηματισμού ατελούς άνθους ή γιατί η χαμηλή θερμοκρασία επιδρά δυσμενώς στη γονιμοποίηση. Όταν η υγρασία του αέρα και η ένταση του φωτός είναι μικρή, παρατηρείται πτώση του άνθους (ανθόρροια).

Η τομάτα παρουσιάζει ποσοτική, φωτοπεριοδική αντίδραση. Αυτό σημαίνει ότι ανθίζει σε οποιαδήποτε φωτοπερίοδο, αλλά όταν η φωτοπερίοδος είναι μικρή (κάτω από 12 ώρες) τότε ανθίζει νωρίτερα (πρωιμότερα) (http://www.teilar.gr/schools/steg/agriculture/lessons/lessons_online/internet%20papadopoulos/28a.htm).

2.2.2.2. ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η τομάτα μπορεί να καλλιεργηθεί σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες εδαφών (οργανικά, ελαφρά, μέσης συστάσεως, ακόμη και βαριά) αρκεί να στραγγίζουν καλά. Σε όλες τις περιπτώσεις είναι επιθυμητή η μεγάλη περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, καθώς και σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Το ανεκτό είναι 5,5 - 7,0 (optimum PH 6,0 - 6,5). Πρέπει να αποφεύγονται τα αλατούχα εδάφη (http://www.teilar.gr/schools/steg/agriculture/lessons/lessons_online/internet%20papadopoulos/28a.htm).

2.2.2.3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΥΓΡΑΣΙΑ

Η άριστη επιθυμητή υγρασία της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 60-70% (Ολύμπιος 2001).

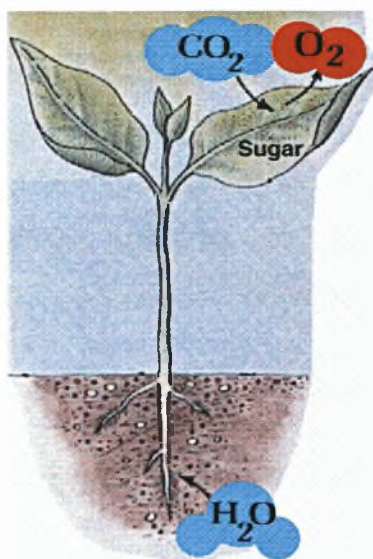
2.2.2.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ CO₂

Η εφαρμογή της ανθρακολίπανσης (εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου με CO₂) έδωσε τις πιο εντυπωσιακές αυξήσεις στην απόδοση των φυτών θερμοκηπίου, που μπορούν να συγκριθούν με τις επαναστατικές αυξήσεις στις αποδόσεις που επέφερε η χρήση των χημικών λιπασμάτων. Συχνά στα θερμοκήπια η συγκέντρωση του CO₂ βρίσκεται αρκετά πιο κάτω από τα φυσιολογικά όρια των 300ppm της ατμόσφαιρας, και αποτελεί τον πιο περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών. Έχει βρεθεί,

ότι αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 περίπου στο τριπλάσιο της φυσιολογικής, δηλαδή στα 1000 μέχρι 1200ppm, δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, υπό την προϋπόθεση ότι οι άλλοι συντελεστές (φως, θερμοκρασία, υγρασία, διατροφή) βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα. (Ολύμπιος 2001).

2.3. ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Φωτοσύνθεση είναι η διαδικασία που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε χημική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από βιολογικά συστήματα. Η φωτοσύνθεση πραγματοποιείται από οργανισμούς όπως τα φυτά και τα βακτήρια. Αυτοί οι οργανισμοί μετατρέπουν το CO_2 σε οργανική ύλη (υδατάνθρακες) με μία πολύπλοκη σειρά αντιδράσεων (Vermaas 1998). Τα ακατέργαστα υλικά της φωτοσύνθεσης, νερό και CO_2 εισέρχονται στα κύτταρα του φύλλου και τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης, υδατάνθρακες και O_2 απομακρύνονται από το φύλλο (<http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/BIOBK/BioBookPS.html>).



Εικόνα 2.5. Διαδικασία της φωτοσύνθεσης

Από ποσοτική άποψη, το φάσμα της εξωτερικής ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να τροποποιηθεί από τις οπτικές ιδιότητες του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου. Αυτές οι ποσοτικές αλλαγές στην μετάδοση της ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου επιφέρουν μορφογενετικές αλλαγές και μπορεί να επιδράσουν στην τροποποίηση της αρχιτεκτονικής και του σχήματος των φυτών, με σημαντικές επιδράσεις στην παραγωγή ορισμένων φυτών, και ειδικά σε ανθοκομικά φυτά (Kittas & Baille 1998).

Η σύνθεση των υδατανθράκων από CO₂ και νερό απαιτεί μια μεγάλη ποσότητα ηλιακής ενέργειας. Η ενέργεια που απαιτείται για τη μείωση ενός mol CO₂ στο επίπεδο της γλυκόζης είναι +478 KJ/mol. Κάθε χρόνο πάνω από 10% του συνολικού CO₂ της ατμόσφαιρας μειώνεται, μετατρέπόμενο σε υδατάνθρακες από φωτοσυνθετικούς μηχανισμούς (www.Life.uiuc.edu/govindjee/paper/gov.html).

Η φωτοσύνθεση όμως δεν είναι η μόνη φυσιολογική λειτουργία στην οποία το φυτό χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια. Μια άλλη λειτουργία στο φυτό που χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια είναι η διαπνοή, καθώς και η σύνθεση χλωροφύλλης α, η φωτομορφογένεση, ο φωτοτροπισμός, κ.α. Όμως, μόνο στη φωτοσύνθεση γίνεται δέσμευση της ηλιακής ενέργειας (Λόλας 2000).

Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης λαμβάνει μέρος στους χλωροπλάστες, χρησιμοποιώντας χλωροφύλλη. Η φωτοσύνθεση γίνεται κυρίως στα φύλλα. Τα μέρη ενός τυπικού φύλλου περιλαμβάνουν την ανώτερη και κατώτερη επιδερμίδα, το μεσόφυλλο, τα στόματα και τις αγγειακές δεσμίδες. Τα στόματα είναι οπές που υπάρχουν στην κατώτερη επιδερμίδα και χρειάζονται για την ανταλλαγή αέρα: προσλαμβάνουν CO₂ και αποβάλλουν O₂. Οι αγγειακές δεσμίδες ή αγγεία αποτελούν μέρος του συστήματος διαπνοής, μετακινώντας νερό και θρεπτικά στοιχεία όπου χρειάζεται το φυτό. Στα κύτταρα του μεσόφυλλου υπάρχουν οι χλωροπλάστες όπου και συμβαίνει η φωτοσύνθεση. Η χλωροφύλλη βρίσκεται στις μεμβράνες των θυλακοειδών στους χλωροπλάστες (<http://biology.clc.uc.edu/courses/bio104/photosyn.htm>).

Η γενική χημική αντίδραση της φωτοσύνθεσης είναι:



2.3.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της φωτοσύνθεσης έχουν προταθεί αρκετά μοντέλα (εξισώσεις). Παρακάτω αναφέρονται μερικές εξισώσεις οι οποίες προτάθηκαν από τους Acock (1991), Harley και Tenhunen (1991) και Evans και Farquhar (1991).

Η πρώτη εξίσωση είναι από τον Acock (1991):

$$P = \frac{aIC\tau}{aI + C\tau} - R \quad (1)$$

Η επόμενη εξίσωση είναι από τους Harley και Tenhunen (1991):

$$P = \frac{aI}{\sqrt{1 + \frac{a^2 I^2}{(C\tau)^2}}} - R \quad (2)$$

Και η τελευταία εξίσωση είναι από τους Evans και Farquhar (1991):

$$P = \frac{2aI}{1 + \frac{aI}{C\tau} + \sqrt{(1 + \frac{aI}{C\tau})^2 - \frac{4aI}{C\tau}\theta}} - R \quad (3)$$

όπου P είναι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης σε $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{s}^{-1}$, R είναι ο ρυθμός αναπνοής σε $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{s}^{-1}$, I είναι η πυκνότητα ροής του φωτός στη φυλλική επιφάνεια σε $\mu\text{mol (φωτόνια) m}^{-2}\text{s}^{-1}$, C είναι η περιβάλλουσα $[\text{CO}_2]$ σε $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-3}$, a είναι η αποτελεσματικότητα αξιοποίησης του φωτός σε $\mu\text{mol (CO}_2\text{)}/\mu\text{mol (φωτονίων)}$, τ είναι η αγωγιμότητα του φύλλου κατά τη μεταφορά του CO_2 σε m s^{-1} και θ είναι ο αδιάστατος παράγοντας κυρτότητας, $0 \leq \theta \leq 1$.

Κάθε ένα από τα μοντέλα έχει τρεις παραμέτρους το a, το τ και το R και η τρίτη εξίσωση έχει μία επιπλέον παράμετρο το θ (L.B. Pachepsky, B.Acock, 1994). Από τις εξισώσεις που παρουσιάστηκαν επιλέχθηκε η εξίσωση (1) ως η απλούστερη και με τις λιγότερες σταθερές. Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων έγινε βαθμονόμηση των παραμέτρων της απλοποιημένης εξίσωσης της φωτοσύνθεσης του Acock (1):

$$P_s = \frac{\frac{PAR * P_{\max}}{P_{\max} + PAR} - Rd}{a} \quad (4)$$

όπου $P_s [\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ = ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, $PAR [\mu\text{mol (φωτονίων) m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ = η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία και αντιστοιχεί με I της εξίσωσης (1), $R_d [\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ = ο ρυθμός αναπνοής και αντιστοιχεί με R της εξίσωσης (1), $a[\mu\text{mol (CO}_2\text{)}/\mu\text{mol (φωτονίων)}]$ = η αποτελεσματικότητα χρήσης της ακτινοβολίας και $P_{\max} [\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ = ο μέγιστος ρυθμός φωτοσύνθεσης και αντιστοιχεί με C_t της εξίσωσης (1).

2.4. ΔΙΑΠΝΟΗ

Διαπνοή είναι η αποβολή νερού με εξάτμιση από τα φύλλα διαμέσου των στομάτων, της επιδερμίδας (εφυμενίδας) ή των βοθρίων. Η διαπνοή είναι μια άλλη φυσιολογική λειτουργία του φυτού που χρειάζεται ηλιακή ενέργεια όπως η φωτοσύνθεση. Όμως μόνο στη φωτοσύνθεση γίνεται δέσμευση της ηλιακής

ενέργειας. Με τη διαπνοή τα φυτά ρυθμίζουν σε μεγάλο βαθμό την υδατική τους κατάσταση.

Υπάρχουν δυο είδη διαπνοής: η επιδερμική και η στοματική. Έχει βρεθεί ότι περισσότερο από 90% του νερού που χάνεται με τη διαπνοή οφείλεται στη στοματική διαπνοή.

Με τη διαπνοή το φυτό επηρεάζει την πρόσληψη του νερού και των θρεπτικών στοιχείων καθώς και τη μεταφορά τους μέσα στο φυτό. Ακόμη, το φυτό με τη διαπνοή αυτοπροστατεύεται από υπερθέρμανση και θερμικό θάνατο (με την εξάτμιση παράγεται ψύξη).

Η διαπνοή γενικά αυξάνεται με την αύξηση του φωτισμού. Πρώτ' απ' όλα, το φως επηρεάζει τη διαπνοή μέσω του ανοίγματος των στομάτων. Ύστερα, όσο αυξάνεται η ένταση του φωτός αυξάνεται και η θερμοκρασία του φύλλου και συνεπώς και η διαπνοή. Τέλος, η φωτοσύνθεση ένα μέρος του νερού που χρειάζεται (πηγή ηλεκτρονίων στο PSII) το εξασφαλίζει με τη διαπνοή (Λόλας 2000).

2.4.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΠΝΟΗΣ

Η διαπνοή από το φυτό συντελείται σε δύο στάδια. Πρώτα, το νερό που έφτασε στα επιδερμικά κύτταρα του φύλλου, εξατμίζεται μέσα στους μεσοκυττάριους χώρους. Μετά αρχίζει το δεύτερο στάδιο, που είναι η διάχυση των ατμών του νερού από τους μεσοκυττάριους χώρους μέσω των στομάτων, εφ' όσον είναι ανοικτά, στον ελεύθερο αέρα. Όταν τα στόματα είναι κλειστά, οι ατμοί νερού παραμένουν στους μεσοκυττάριους χώρους. Η διαπνοή απαιτεί ενέργεια ATP για το ανοιγοκλείσιμο των στομάτων (Λόλας 2000).

2.5. ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Με τον όρο στοματική αγωγιμότητα εννοείται η αγωγιμότητα στη μεταφορά των υδρατμών από το εσωτερικό του φύλλου στην επιφάνειά του. Η στοματική αγωγιμότητα παίζει σημαντικό ρόλο στον καταμερισμό της ενέργειας σε αισθητή και λανθάνουσα και επηρεάζεται από μία σειρά παραμέτρων του μικροκλίματος. Η στοματική αγωγιμότητα, στο επίπεδο του φύλλου ή της καλλιέργειας, έχει συσχετιστεί με την ηλιακή ακτινοβολία, το έλλειμμα κορεσμού, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα, καθώς επίσης και με το υδατικό δυναμικό του φύλλου (Turner 1974, van Bavel 1974, Jarvis 1976, Takami and Uchijima 1977, Farquhar 1978, Farquhar and

Sharkey 1982, Kaufmann 1982, Choudhury 1983, Zeiger 1983, Dwyer and Stewart 1984, Avissar *et al.* 1985, Choudhury and Idso 1985, Lindroth 1985, Simpson *et al.* 1985, Grantz and Zeiger 1986, Baldocchi *et al.* 1987, Stanghellini 1987) ή με φυσιολογικούς παράγοντες, όπως η φωτοσύνθεση (Ball *et al.* 1987, Collatz *et al.* 1991, Leuning 1995) και η διαπνοή (Monteith 1973, Monteith 1995). Από τους ανωτέρω παράγοντες, το σπουδαιότερο ρόλο παίζει η ακτινοβολία.

Επειδή δεν υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία αρκετές αναφορές σχετικά με τη στοματική αγωγιμότητα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, τόσο στο επίπεδο του φύλλου όσο και στο επίπεδο της καλλιέργειας, θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική η απόκτηση περισσότερης γνώσης, σχετικής με τη συμπεριφορά και την αντίδραση της στοματικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας στις αλλαγές του μικροκλίματος του θερμοκηπίου.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

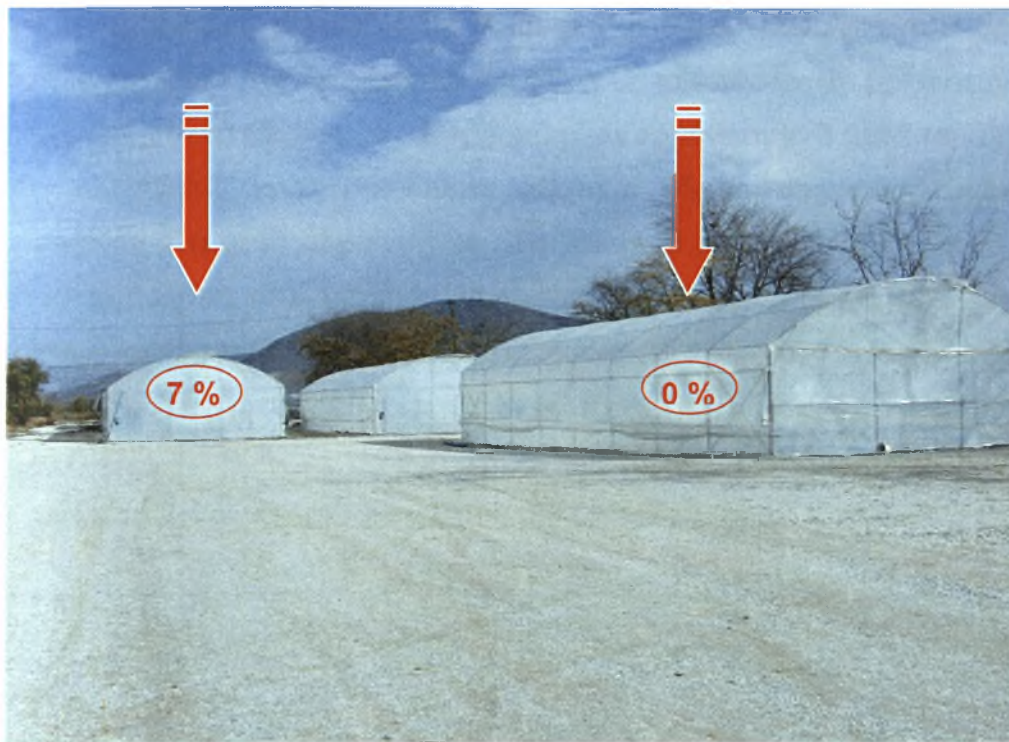
Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της χρήσης απορροφητικών της UV ακτινοβολίας υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων στη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας, έγιναν μετρήσεις διαπνοής και φωτοσύνθεσης κατά την περίοδο Απριλίου-Ιουνίου 2004. Κατά την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο θερμοκήπια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Βελεστίου. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 79'$, το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m, και απέχει 17 km από το Βόλο.

3.2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Τα δύο θερμοκήπια στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είχαν σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα και κάλυψη από πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου. Το ένα θερμοκήπιο (GR-1) χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας και ήταν καλυμμένο με κοινό πλαστικό θερμικό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE-1), με διαπερατότητα 20.1 % στη UV-A ακτινοβολία και 12.4% στη UV-B ακτινοβολία ενώ το άλλο θερμοκήπιο (GR-2) ήταν καλυμμένο με πλαστικό θερμικό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE-2) με διαπερατότητα 0.4 % στη UV-A και 1.1 % στη UV-B ακτινοβολία. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζονται τα δύο θερμοκήπια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος. Το πάχος των φύλλων ήταν 180 μm και ήταν προϊόντα της βιομηχανίας «Πλαστικά Κρήτης». Τα πλαστικά φύλλα βρίσκονταν στο 3^ο έτος χρησιμοποίησής τους και ενώ αρχικά το κοινό φύλλο πολυαιθυλενίου στο θερμοκήπιο είχε διαπερατότητα στη UV ακτινοβολία 7% και το απορροφητικό της υπεριώδους ακτινοβολίας υλικό κάλυψης 0%, κατά τη διεξαγωγή του πειράματος η διαπερατότητάς τους είχε αυξηθεί στις τιμές που προαναφέρθηκαν.

Τα θερμοκήπια είχαν προσανατολισμό ανατολή-δύση με απόκλιση του άξονά τους από το Βορρά περίπου 36° ανατολικά. Τα θερμοκήπια ήταν τροποποιημένα τοξωτά επιφάνειας 160 m^2 (20 m x 8 m) το καθένα, με μέγιστο ύψος 4,1 m στον κορφιά και 2,9 m ύψος ορθοστάτη. Το έδαφος εντός του

θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με ασπρόμαυρο πλαστικό διπλής όψης.



Εικόνα 3.1. Απεικόνιση των θερμοκηπίων στο αγρόκτημα

3.3. ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Τα θερμοκήπια διέθεταν πλαϊνά ανοίγματα κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών με διαστάσεις των ανοιγμάτων 1 m x 15 m, με τη βοήθεια των οποίων γινόταν ο αερισμός. Τα παράθυρα για τον αερισμό ελέγχονταν αυτόματα με τη χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Τα παράθυρα ξεκινούσαν να ανοίγουν όταν η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου ξεπερνούσε τους 23⁰C, ενώ όταν η θερμοκρασία έφτανε τους 28⁰C τα παράθυρα είχαν το μέγιστο άνοιγμα τους.

3.4. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας (*Lycopersicum esculentum*), ποικιλία Belladonna. Πρόκειται για ποικιλία αυτογονιμοποιούμενη, με χαρακτηριστικό τη μεγάλη διάρκεια ζωής του καρπού. Τα φυτά τομάτας μεταφτεύτηκαν στις 8 Μαρτίου, σε ηλικία 32 ημερών από τη σπορά (είχαν εκπτυχθεί τα πρώτα 6 φύλλα).

Έγινε χρήση του συστήματος υδροπονίας για να επιτευχθεί ομοιομορφία συνθηκών στη ρίζα, κάτι που δεν επιτυγχάνεται στο έδαφος και για την αποφυγή ασθενειών του εδάφους. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν περλίτης σε σάκους μήκους 1 m. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 136 σάκοι υποστρώματος σε κάθε θερμοκήπιο. Οι σάκοι με το υπόστρωμα βρισκόταν σε ύψος 40 cm από το έδαφος. Σε κάθε σάκο είχαν τοποθετηθεί 3 φυτά τομάτας.

Στην καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε σύστημα υδροπονίας και επομένως εφαρμοζόταν στα φυτά υδρολίπανση. Το θρεπτικό διάλυμα παρέχονταν στο φυτό με τη βοήθεια σταλακτήρων με παροχή 4 L h⁻¹. Η άρδευση των φυτών ελέγχονταν αυτόματα με τη βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή.

Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε 4 διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0,33 m επί της γραμμής και 0,75 m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα 2,4 φυτά / m². Το πλάτος του διαδρόμου ήταν 1 m (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Διάταξη των φυτών εντός του θερμοκηπίου

3.5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΩΝ

Τα φύλλα των φυτών στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις επιλέχθηκαν τυχαία. Το μέγεθος του δείγματος ήταν 16 φύλλα/θερμοκήπιο/μέτρηση. Στις μετρήσεις κατά την περίοδο από 21-22 Απριλίου επιλέχθηκαν τα φύλλα τα οποία βρίσκονταν στον 6^ο κόμβο (ή στο 10^ο κόμβο από την κορυφή). Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 6 και 8 Μαΐου επιλέχθηκαν τα φύλλα τα οποία βρίσκονταν στον 14^ο κόμβο (ή στον 11^ο κόμβο από την κορυφή) ενώ κατά τις μετρήσεις στις 25 και 27 Μαΐου

επιλέχθηκαν τα φύλλα τα οποία βρισκόντουσαν στον 18^ο κόμβο (ή στο 16^ο από την κορυφή). Στις δύο τελευταίες μετρήσεις κατά την περίοδο 24 έως 29 Ιουνίου τα φύλλα που μετρήθηκε ο ρυθμός φωτοσύνθεσης τους επιλέχθηκαν τυχαία, ανεξαρτήτως σταδίου ανάπτυξης. Η διαφοροποίηση αυτή έγινε για το λόγο ότι τα φυτά όδευαν προς το τέλος της ανάπτυξης τους.

3.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ

Η μέτρηση της φωτοσύνθεσης των φύλλων των φυτών γινόταν με τη χρήση του συστήματος LICOR 6200 (Εικόνα 3.3). Το μηχάνημα αποτελείται από έναν υπολογιστή, απ' όπου ρυθμίζονται οι παράμετροι (σχετική υγρασία, συγκέντρωση CO₂, ακτινοβολία) που απαιτούνται για τη μέτρηση της φωτοσύνθεσης, τον αναλυτή και το θάλαμο.

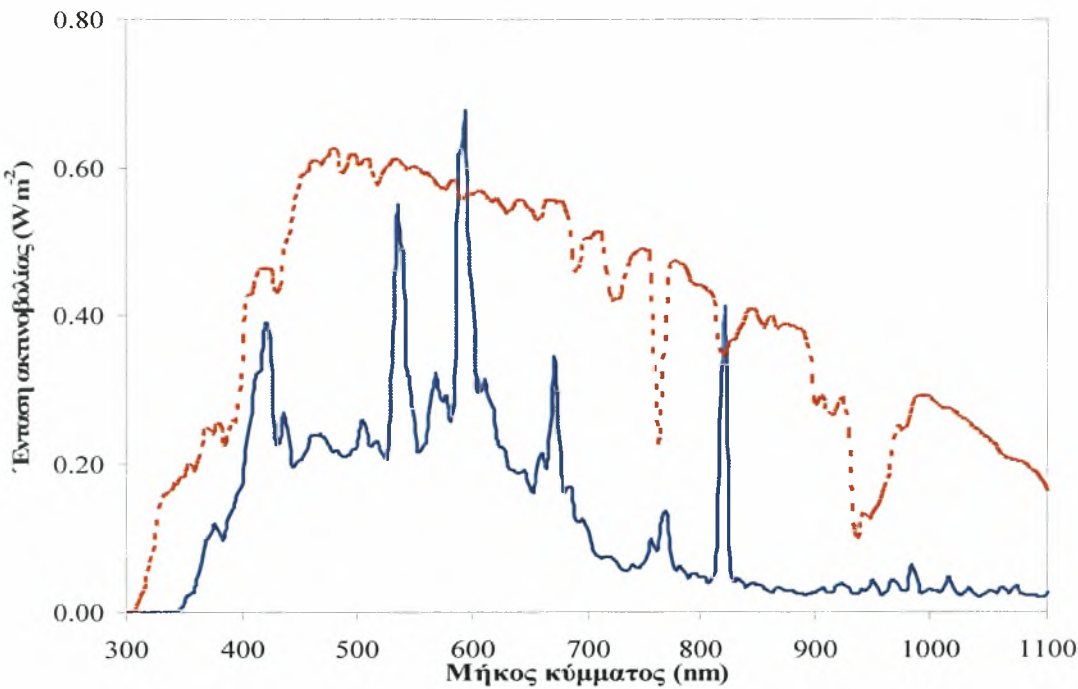


Εικόνα 3.3. Φορητό όργανο μέτρησης της φωτοσύνθεσης - LICOR 6200.

Ο θάλαμος αποτελείται από διάφανο πλαστικό και εξωτερικά έχει αισθητήρα για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στο εσωτερικό του θαλάμου υπάρχουν μικροί ανεμιστήρες (για να αποφεύγεται η θέρμανση του φύλλου κατά τη διάρκεια της μέτρησης, όταν ο θάλαμος παραμένει κλειστός), αισθητήρες θερμοκρασίας και από τις 2 πλευρές που τοποθετείται το φύλλο, αισθητήρας για τη μέτρηση της υγρασίας καθώς επίσης και αισθητήρας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα.

Η επιφάνεια στην οποία γινόταν η μέτρηση ήταν καθορισμένη και ρυθμιζόταν με τη βοήθεια τεσσάρων εξαρτημάτων (2 σε κάθε πλευρά του θαλάμου) ανάλογα με το μέγεθος του φύλλου.

Πάνω από το θάλαμο τοποθετήθηκε σε σταθερό σημείο προβολέας αλογόνου υψηλής πίεσης, ισχύος 150 Watt, προκειμένου να επιτυγχάνονται τα απαραίτητα επίπεδα ακτινοβολίας για την εκάστοτε μέτρηση. Η ποιότητα της ακτινοβολίας (ένταση ακτινοβολίας για διάφορα μήκη κύματος) που εκπέμπονταν από τον προβολέα και από τον ήλιο παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Ένταση εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τη λάμπα (—) και από τον ήλιο (- - -), για διάφορα μήκη κύματος.

Για τη μείωση της υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπονταν από τον προβολέα, μεταξύ του προβολέα και του θαλάμου μέτρησης της Ps παρεμβάλλονταν φύλλα πολυαιθυλενίου (PE-Lamp-Chamber) με διαπερατότητα στη UV-A και UV-B ακτινοβολία όμοια με αυτή των υλικών που κάλυπταν τα δύο θερμοκήπια.

Ανάμεσα στον προβολέα και στο θάλαμο τοποθετήθηκε ένα τετράγωνο δοχείο από γυαλί σε συγκεκριμένες διαστάσεις το οποίο περιείχε νερό προκειμένου να απορροφάται η θερμότητα από τον προβολέα και να μην αλλοιώνεται το φύλλο. Το νερό εντός του δοχείου αντικαθιστούνταν μετά από κάθε μέτρηση του φύλλου γιατί θερμαίνονταν.

Πριν ξεκινήσει η μέτρηση γίνονταν οι απαραίτητοι έλεγχοι για να διαπιστωθούν τυχόν παρεκκλίσεις της ροής, διαρροές CO₂. Επίσης υπολογιζόταν ο συντελεστής K δηλαδή το κλάσμα όπου αριθμητής είναι ο ξηρός αέρας που εισέρχονταν στο θάλαμο και παρονομαστής το ποσοστό της πίεσης εντός του θαλάμου.

Έπειτα και εφ' όσον οι έλεγχοι έδειχναν ότι δεν υπήρχαν παρεκκλίσεις, ξεκινούσε η διαδικασία για τη μέτρηση. Κατ' αρχάς, τοποθετούνταν το φύλλο στο θάλαμο και μετά ο θάλαμος έκλεινε. Το φύλλο τοποθετούνταν στο θάλαμο με χρήση γαντιών ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση του φύλλου με ιούς από την επαφή του φύλλου με γυμνά χέρια. Αφού τοποθετούνταν το φύλλο στο θάλαμο σταθεροποιούνταν η υγρασία με τη χρήση ενός φίλτρου το οποίο περιείχε αφυγραντικό. Η σταθεροποίηση της υγρασίας γίνονταν μηχανικά μέσω της χρήσης μιας βαλβίδας που ήταν τοποθετημένη στο φίλτρο.

Επιπρόσθετα, ρυθμίζονταν η συγκέντρωση του CO₂ μέσω μιας άλλης βαλβίδας, η οποία συνδεόταν με το θάλαμο, έτσι ώστε η καταγραφή της εκάστοτε μέτρησης να ξεκινάει με αρχική συγκέντρωση 360 με 370 ppm περίπου. Μετά τις παραπάνω ρυθμίσεις ξεκινούσε η λήψη της μέτρησης του φύλλου στα διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας από το μηχάνημα.

3.7. ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια οχτώ (8) ημερών, από τις 21 Απριλίου έως και τις 29 Ιουνίου και συγκεκριμένα:

Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 21 Απριλίου στο θερμοκήπιο το οποίο ήταν καλυμμένο με το UV5 υλικό κάλυψης. Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 22 Απριλίου στο ίδιο θερμοκήπιο αλλά υπό το UV0 υλικό κάλυψης.

Η τρίτη μέτρηση έγινε στις 6 Μαΐου στο θερμοκήπιο με το UV5 υλικό κάλυψης, υπό το UV0 υλικό κάλυψης, ενώ η τέταρτη μέτρηση η οποία έγινε δύο ημέρες αργότερα, δηλαδή στις 8 Μαΐου, στο ίδιο θερμοκήπιο ήταν υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

Η πέμπτη και η έκτη μέτρηση πραγματοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο με το UV0 υλικό κάλυψης και πιο συγκεκριμένα στις 25 Μαΐου η μέτρηση έγινε υπό την κάλυψη του UV0 υλικού ενώ στις 27 Μαΐου η μέτρηση έγινε υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

Οι δύο τελευταίες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο με το UV5 υλικό κάλυψης. Η προτελευταία μέτρηση έλαβε χώρα στις 24 Ιουνίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού και η τελευταία πραγματοποιήθηκε στις 29 Ιουνίου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

3.8. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έγινε μέσω του Msexcel και του στατιστικού πακέτου Splus.

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων έγινε βαθμονόμηση των παραμέτρων της εξίσωσης (4) με γραμμική παλινδρόμηση. Μετά τη βαθμονόμηση των παραμέτρων (P_{max} , R_d και α) της παραπάνω εξίσωσης, για κάθε μέτρηση υπολογίστηκε η τιμή της φωτοσύνθεσης (P_s) και προέκυψαν για κάθε μία από τις μετρήσεις οι αντίστοιχες καμπύλες της φωτοσύνθεσης (P_s) συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας. Προκειμένου να διαπιστωθεί κάθε φορά αν οι παράμετροι (P_{max} , R_d και α) των εκάστοτε δύο καμπυλών του ρυθμού φωτοσύνθεσης που συγκρίνονταν διέφεραν σημαντικά, γίνονταν έλεγχος με τη βοήθεια του t-κριτηρίου, ενώ για να διαπιστωθεί εάν οι διαφορές των δύο καμπυλών του ρυθμού φωτοσύνθεσης που προέκυπταν ήταν τυχαίες γίνονταν χρήση του F-κριτηρίου.

Η τιμή του t-κριτηρίου υπολογίστηκε βάσει του τύπου:

$$t = \frac{\Pi_{UV0} - \Pi_{UV5}}{\sqrt{(st.error \Pi_{UV0})^2 + (st.error \Pi_{UV5})^2}} \quad (5)$$

όπου: Π_{UV0} = παράμετρος (P_{max} , R_d και α) των εκάστοτε συγκρίσεων για τις μετρήσεις που γίνονταν υπό την κάλυψη του UV0 υλικού, Π_{UV5} = παράμετρος (P_{max} , R_d και α) των εκάστοτε συγκρίσεων για τις μετρήσεις που γίνονταν υπό την κάλυψη του UV5 υλικού, $st. error \Pi_{UV0}$ = τυπικό σφάλμα για το Π_{UV0} και $st. error \Pi_{UV5}$ = τυπικό σφάλμα για το Π_{UV5} . Η τιμή t από την εξίσωση (5) συγκρίνονταν με την τιμή t του πίνακα του t-κριτηρίου για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 0,05 και για τους εκάστοτε βαθμούς ελευθερίας (B.E). Αν η τιμή της εξίσωσης (5) ήταν μεγαλύτερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα, τότε οι δύο παράμετροι που συγκρίνονταν κάθε φορά διέφεραν σημαντικά, ενώ αν η τιμή της εξίσωσης (5) ήταν μικρότερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα, τότε οι δύο παράμετροι που συγκρίνονταν κάθε φορά δε διέφεραν.

Προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή P του F -κριτηρίου θεωρήθηκε η H_0 (ότι οι καμπύλες που συγκρίνονται κάθε φορά δεν διαφέρουν) και η H_1 (ότι οι καμπύλες που συγκρίνονται κάθε φορά διαφέρουν) υπόθεση. Από τη βαθμονόμηση της εξίσωσης (4) η οποία γίνεται μέσω του στατιστικού πακέτου *Splus* υπολογίζονται για τις δύο υποθέσεις (H_0 και H_1) τα αθροίσματα τετραγώνων (SS) και οι Βαθμοί Ελευθερίας (DF). Έπειτα υπολογίζεται η σχετική διαφορά των SS και των DF . Ακολουθεί ο υπολογισμός της τιμής F του F -κριτηρίου βάσει του τύπου:

$$F = RD_{SS} / RD_{DF} \quad (6)$$

όπου: RD_{SS} = σχετική διαφορά του αθροίσματος τετραγώνων των δύο υποθέσεων (H_0 και H_1) και RD_{DF} = σχετική διαφορά των Βαθμών Ελευθερίας των δύο υποθέσεων (H_0 και H_1) και τελευταία υπολογίζεται η τιμή P του F -κριτηρίου βάσει του τύπου:

$$P = FDIST[F, (DF_{H_0} - DF_{H_1}), DF_{H_0}] \quad (7)$$

Εάν η τιμή P είναι μικρότερη του επιπέδου σημαντικότητας 0,05 ισχύει η υπόθεση H_1 ενώ αν η τιμή P είναι μεγαλύτερη του επιπέδου σημαντικότητας 0,05 ισχύει η υπόθεση H_0 .

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν διαφορές όσον αφορά στη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θαλάμου και τη θερμοκρασία των φύλλων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, για όλες τις περιπτώσεις εκτός των μετρήσεων που έγιναν κατά την 21^η Απριλίου. Παρόμοια ήταν επίσης και η συγκέντρωση CO₂, ενώ κάποιες διαφορές παρουσιάζονται στη σχετική υγρασία του αέρα μεταξύ των διαφόρων περιόδων μέτρησης.

Πίνακας 4.1. Μέσοι όροι των κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

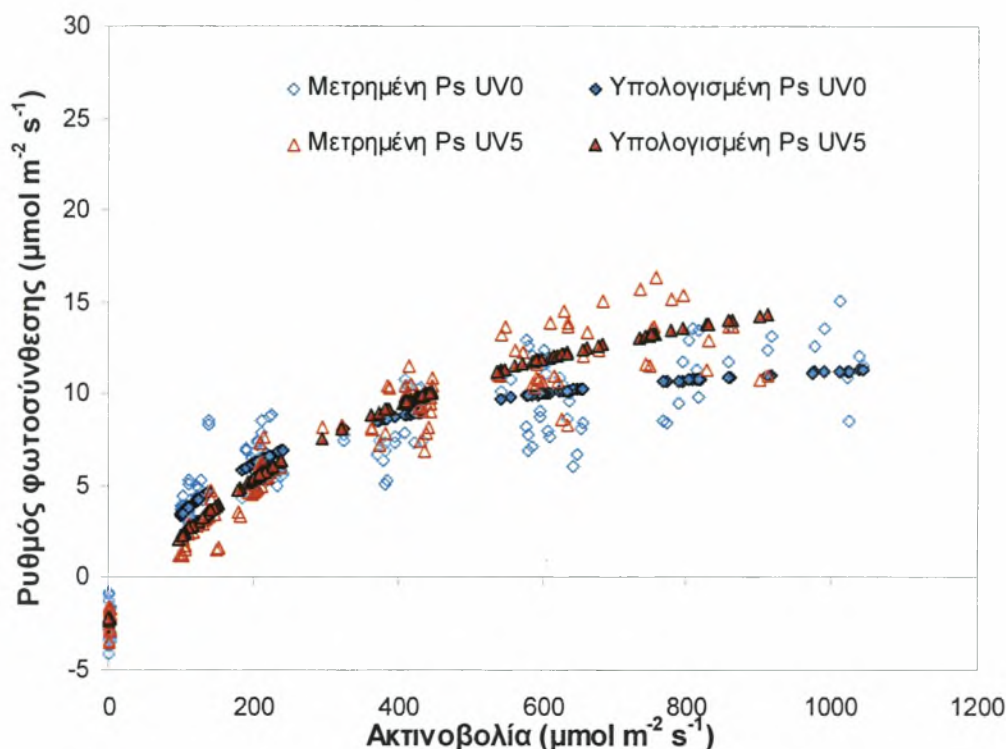
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	ΥΛΙΚΟ	Tair (°C)	Tleaf (°C)	[CO2] (ppm)	RH (%)	Eair (kPa)	gs (mol m ⁻² s ⁻¹)
22 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	UV5	UV0	31,5	31,0	352	41,0	1,88	0,20
21 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	UV5	-	25,5	25,5	342	69,4	2,24	0,41
6 ΜΑΙΟΥ	UV5	UV0	31,0	30,4	370	43,3	1,97	0,29
8 ΜΑΙΟΥ	UV5	UV5	32,5	32,0	374	33,6	1,64	0,24
24 ΙΟΥΝΙΟΥ	UV5	UV0	37,0	36,0	367	31,4	1,95	0,28
29 ΙΟΥΝΙΟΥ	UV5	UV5	35,7	34,3	373	35,3	2,08	0,28
25 ΜΑΙΟΥ	UV0	UV0	31,0	31,0	365	56,8	2,55	0,18
27 ΜΑΙΟΥ	UV0	UV5	32,5	32,0	364	47,1	2,31	0,22

Όπου Tair = θερμοκρασία αέρα εντός του θαλάμου, Tleaf = θερμοκρασία του φύλλου, [CO2] = συγκέντρωση του CO₂, RH = σχετική υγρασία, Eair = τάση ατμών του αέρα εντός του θαλάμου και gs = στοματική αγωγιμότητα.

Η σχετική υγρασία και η συγκέντρωση του CO₂ ρυθμιζόταν και διατηρούταν σε σταθερά επίπεδα κατά τη διάρκεια της κάθε μέτρησης. Η σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων κυμάνθηκε από 31,4% έως 69,4% ενώ η συγκέντρωση του CO₂ κυμάνθηκε από 342 έως 374 ppm. Παρατηρείται από τον πίνακα 4.1 ότι η συγκέντρωση του CO₂ μεταξύ των μετρήσεων στο ίδιο χρονικό διάστημα και στο ίδιο θερμοκήπιο βρισκόταν σε πολύ κοντινά επίπεδα.

Η τάση ατμών εντός του θαλάμου όπως παρατηρείται από τον Πίνακα 4.1 κυμάνθηκε από 1,64 έως 2,55 kPa, ενώ η στοματική αγωγιμότητα ήταν πιο σταθερή και οι τιμές της κυμάνθηκαν από 0,18 έως 0,40 mol m⁻² s⁻¹.

4.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ



Σχήμα 4.1. Φωτοσύνθεση συναρτήσει της ακτινοβολίας κατά την περίοδο από 21 έως 22 Απριλίου.

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της φωτοσύνθεσης που πραγματοποιήθηκαν στις 22 Απριλίου έγινε βαθμονόμηση της απλοποιημένης εξίσωσης του Acock [εξίσωση (4)] για τον υπολογισμό της φωτοσύνθεσης και υπολογίστηκαν οι τιμές P_{max} , a και R_d οι οποίες βρέθηκαν για την περίπτωση του UV5 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού να είναι $P_{max}=16 (\pm 0,53) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $a=0,096 (\pm 0,01) \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και $R_d=2,63 (\pm 0,31) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές υπολογίστηκε η φωτοσύνθεση, οι υπολογισμένες τιμές της οποίας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.1, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού. Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει μεγάλη διασπορά των μετρημένων τιμών της φωτοσύνθεσης σε σχέση με τις υπολογισμένες τιμές.

Ομοίως υπολογίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (4) για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 21 Απριλίου στο UV5 θερμοκήπιο χωρίς όμως την κάλυψη του UV5 υλικού και βρέθηκαν $P_{\max}=24,69 (\pm 1,058) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $a=0,054 (\pm 0,003) \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και $R_d=2,26 (\pm 0,226) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης που προέκυψαν από την εξίσωση (4) για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 21 και 22 Απριλίου, συμπεραίνεται ότι τα φυτά υπό την κάλυψη του UV5 υλικού φωτοσυνθέτουν με μικρότερο ρυθμό σε ακτινοβολία έντασης από 0 έως και $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ περίπου, ενώ σε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας, τα φυτά αυτά φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό απ' ό,τι τα φυτά υπό την κάλυψη του UV0 υλικού. Και στις δύο περιπτώσεις τα φυτά αναπνέουν με τον ίδιο ρυθμό.

Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές των δύο παραπάνω μετρήσεων συμπεραίνεται ότι η τιμή P_{\max} στη δεύτερη ($24,69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) περίπτωση είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στην πρώτη ($16,16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Κάνοντας σύγκριση των δύο αυτών τιμών με το *t*-κριτήριο και για 295 B.E. υπολογίζεται η τιμή $t=7,21$ η οποία είναι μεγαλύτερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα (1,96) και συνεπώς οι δύο παράμετροι διαφέρουν σημαντικά. Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές a των δύο παραπάνω περιπτώσεων παρατηρείται ότι η τιμή a στην πρώτη [$a=0,096 \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$] περίπτωση είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στη δεύτερη [$a=0,054 \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$]. Κάνοντας σύγκριση των δύο αυτών τιμών με το *t*-κριτήριο και για 295 B.E. υπολογίζεται η τιμή $t=4,25$ η οποία είναι μεγαλύτερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα (1,96) για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 0,05 και συνεπώς οι δύο παράμετροι διαφέρουν σημαντικά. Τέλος, συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές R_d των δύο παραπάνω περιπτώσεων παρατηρείται ότι η τιμή R_d στην πρώτη ($R_d=2,63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) περίπτωση είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στη δεύτερη ($R_d=2,26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Κάνοντας σύγκριση των δύο αυτών τιμών με το *t*-κριτήριο και για 295 B.E. υπολογίζεται η τιμή $t=0,96$ η οποία είναι μικρότερη από την αναγραφόμενη τιμή (1,96) του πίνακα και συνεπώς οι δύο παράμετροι δε διαφέρουν σημαντικά.

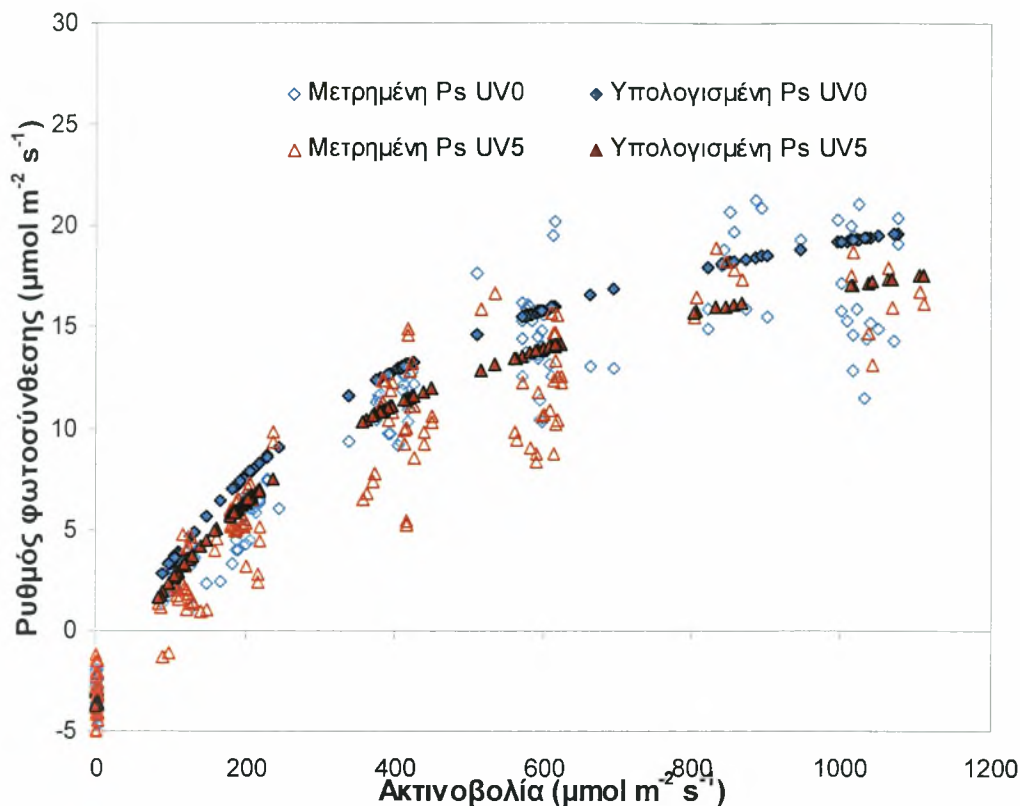
Συνοψίζοντας τα παραπάνω στον Πίνακα 4.2. παρατηρούνται τα εξής:

Πίνακας 4.2. Υπολογισμένες τιμές των συντελεστών της εξίσωσης της φωτοσύνθεσης στην περίπτωση των μετρήσεων στις 21 και 22 Απριλίου.

	Pmax	a	Rd
UV0	16,16 α (± 0,53)	0,096 α (± 0,01)	2,63 α (± 0,31)
UV5	24,69 β (± 1,058)	0,054 β (± 0,003)	2,26 α (± 0,226)

Προκειμένου να διαπιστωθεί εάν οι διαφορές που προέκυψαν για τις δύο καμπύλες του ρυθμού φωτοσύνθεσης είναι πραγματικές ή τυχαίες, γίνεται έλεγχος με το F-κριτήριο. Εφαρμόζοντας το F-κριτήριο (Motulsky & Christopoulos 2003), μέσω της τιμής F υπολογίζεται η τιμή P η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πολύ μικρότερη του επιπέδου σημαντικότητας που τέθηκε (0,05) και επομένως υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο καμπυλών της φωτοσύνθεσης που προέκυψαν για τις 21 και 22 Απριλίου. Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 4.3 υπολογισμού της τιμής P για το F-κριτήριο.

	SS	DF
ΥΠΟΘΕΣΗ ΜΗΔΕΝ	715,3	298
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΥΠΟΘΕΣΗ	571,1	295
ΔΙΑΦΟΡΑ	144,2	3
ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	25,2	1,02
F	24,8	
P	2,29E-14	



Σχήμα 4.2. Φωτοσύνθεση συναρτήσει της ακτινοβολίας κατά την περίοδο από 6 έως 8 Μαΐου.

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της φωτοσύνθεσης που πραγματοποιήθηκαν στις 6 Μαΐου έγινε βαθμονόμηση της εξίσωσης (4) για τον υπολογισμό της φωτοσύνθεσης και υπολογίστηκαν οι τιμές P_{max} , a και R_d οι οποίες βρέθηκαν για την περίπτωση του UV5 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού να είναι $P_{max}=30,64 (\pm 1,128) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $a=0,067 (\pm 0,004) \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και $R_d=3,29 (\pm 0,324) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Σύμφωνα με τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (4) υπολογίστηκε η φωτοσύνθεση, οι υπολογισμένες τιμές της οποίας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2 και αφορούν στις μετρήσεις στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού.

Παρατηρείται ότι σε ένταση ακτινοβολίας από 0 έως $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ οι μετρημένες τιμές της φωτοσύνθεσης παρουσιάζουν πολύ μικρή διασπορά και ακολουθούν τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης. Σε ένταση ακτινοβολίας μεγαλύτερη των $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ οι μετρημένες τιμές παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά αλλά οι τιμές αυτές βρίσκονται γύρω από τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης.

Ομοίως υπολογίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (4) για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 8 Μαΐου στο θερμοκήπιο UV5 υπό την κάλυψη του UV5 υλικού. Οι τιμές της εξίσωσης που υπολογίστηκαν είναι $P_{max}=28,10 (\pm 1,301) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $a=0,07 (\pm 0,005) \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και $R_d=3,72 (\pm 0,334) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Σύμφωνα με αυτές τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (4) υπολογίστηκε η φωτοσύνθεση, οι υπολογισμένες τιμές της οποίας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2 για την περίπτωση του UV5 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

Γενικά, παρατηρείται ότι σε ένταση ακτινοβολίας από 0 έως $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και από $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και πάνω υπάρχει πολύ μικρή διασπορά, και οι μετρημένες τιμές ακολουθούν τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης, ενώ σε ένταση ακτινοβολίας 200 έως $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ περίπου παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά των μετρημένων τιμών γύρω από τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης.

Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης που προέκυψαν από την απλοποιημένη εξίσωση του Acock για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 6 και 8 Μαΐου, παρατηρείται ότι στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού τα φυτά φωτοσυνθέτουν με ελαφρά μεγαλύτερο ρυθμό απ' ό,τι τα φυτά στο ίδιο θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές των δύο παραπάνω μετρήσεων παρατηρείται ότι η τιμή P_{max} στην πρώτη ($30,64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) μέτρηση είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στην δεύτερη ($28,10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Κάνοντας σύγκριση των δύο αυτών τιμών με το t-κριτήριο και για 322 B.E. υπολογίζεται η τιμή $t=1,47$ η οποία είναι μικρότερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα (1,96) και συνεπώς οι δύο παράμετροι δε διαφέρουν σημαντικά. Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές a των δύο παραπάνω περιπτώσεων παρατηρείται ότι η τιμή a στην δεύτερη [$a=0,07 \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$] περίπτωση είναι ελάχιστα μεγαλύτερη απ' ό,τι στην πρώτη [$a=0,067 \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$]. Κάνοντας σύγκριση των δύο αυτών τιμών με το t-κριτήριο και για 322 B.E. υπολογίζεται η τιμή $t=0,14$ η οποία είναι μικρότερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα (1,96) για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 0,05 και συνεπώς οι δύο παράμετροι δε διαφέρουν σημαντικά. Τέλος, συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές R_d των δύο παραπάνω περιπτώσεων

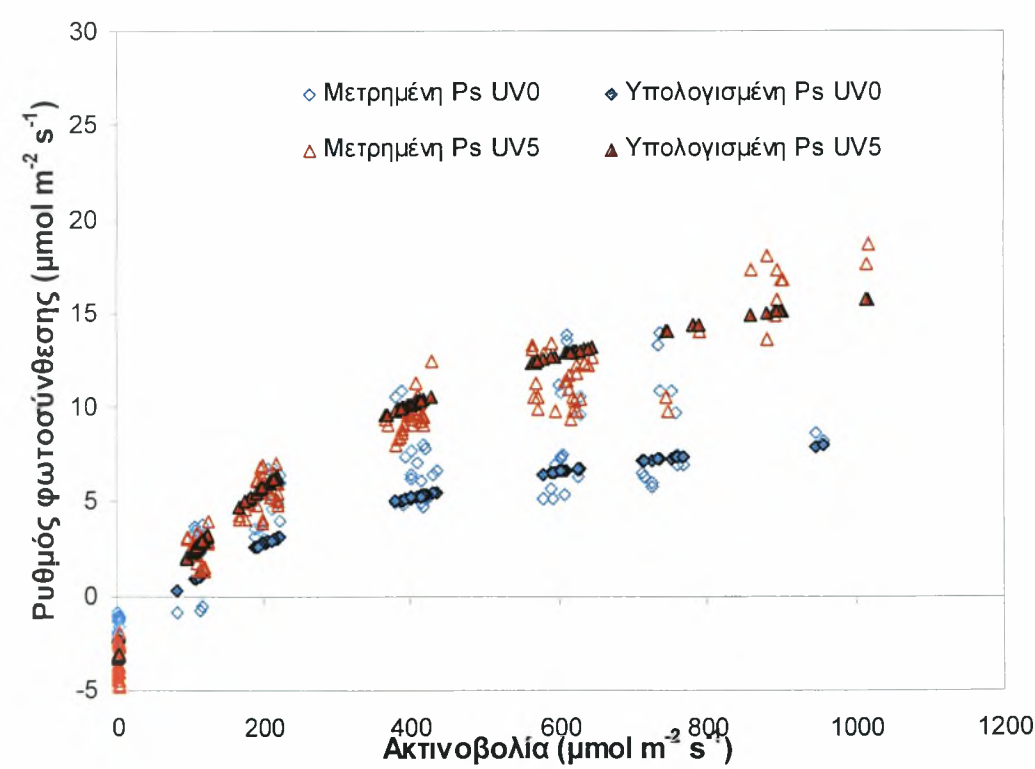
παρατηρείται ότι η τιμή R_d στην πρώτη ($R_d=3,29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) περίπτωση είναι μικρότερη απ’ ότι στη δεύτερη ($R_d=3,72 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Κάνοντας σύγκριση των δύο αυτών τιμών με το t-κριτήριο και για 322 Β.Ε. υπολογίζεται η τιμή $t=0,92$ η οποία είναι μικρότερη από την αναγραφόμενη τιμή του πίνακα (1,96) και συνεπώς οι δύο παράμετροι δε διαφέρουν σημαντικά.

Συνοψίζοντας από τα παραπάνω στον Πίνακα 4.4 παρατηρούμε τα εξής:

Πίνακας 4.4. Υπολογισμένες τιμές των συντελεστών της εξίσωσης της φωτοσύνθεσης στην περίπτωση των μετρήσεων στις 6 και 8 Μαΐου.

	Pmax	a	Rd
UV0	30,64 α	0,067 α	3,29 α
	(± 1,128)	(± 0,004)	(± 0,324)
UV5	28,10 α	0,07 α	3,72 α
	(± 1,301)	(± 0,005)	(± 0,334)

Συνεπώς θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι δύο καμπύλες δεν διαφέρουν.



Σχήμα 4.3. Φωτοσύνθεση συναρτήσει του ρυθμού ακτινοβολίας κατά την περίοδο από 25 έως 27 Μαΐου.

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της φωτοσύνθεσης που πραγματοποιήθηκαν στις 25 Μαΐου έγινε βαθμονόμηση της εξίσωσης (4) για τον υπολογισμό της φωτοσύνθεσης και υπολογίστηκαν οι τιμές Pmax, a και Rd οι οποίες βρέθηκαν για την περίπτωση του UV0 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού να είναι: Pmax=14,18 (±0,903) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a=0,071 (±0,012) $\mu\text{mol (CO}_2\text{) / } \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και Rd=2,50 (±0,432) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Σύμφωνα με τις παραπάνω υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (4) υπολογίστηκε η φωτοσύνθεση, οι υπολογισμένες τιμές της οποίας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.3, για την περίπτωση του UV0 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού.

Οι τιμές από τη βαθμονόμηση της εξίσωσης του Acock για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 27 Μαΐου στο UV0 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού είναι Pmax=26,08 (±0,856) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a=0,063 (±0,003) $\mu\text{mol (CO}_2\text{) / } \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και Rd=3,26 (±0,214) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Σύμφωνα με τις παραπάνω υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (4) υπολογίστηκε η φωτοσύνθεση, οι υπολογισμένες τιμές της οποίας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.3.

Από το Σχήμα 4.3 παρατηρείται ότι οι μετρημένες τιμές φωτοσύνθεσης σε ένταση ακτινοβολίας 0 έως 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ακολουθούν τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης, ενώ σε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας παρατηρείται μικρή διασπορά των μετρημένων τιμών.

Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές των δύο περιπτώσεων από το Σχήμα 4.3 παρατηρείται ότι τα φυτά στο UV0 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό απ’ ότι τα φυτά υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο ίδιο θερμοκήπιο.

Εφαρμόζοντας το t-κριτήριο για τις παραπάνω τιμές προέκυψε ο παρακάτω πίνακας 4.5.

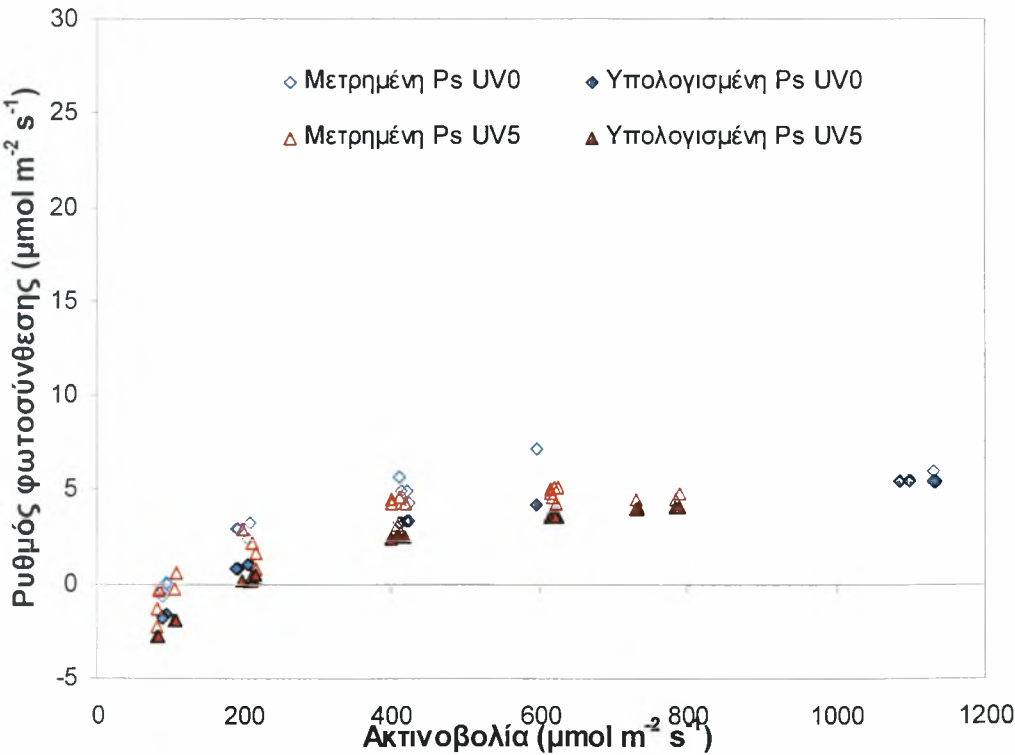
Πίνακας 4.5. Υπολογισμένες τιμές των συντελεστών της εξίσωσης της φωτοσύνθεσης στην περίπτωση των μετρήσεων στις 25 και 27 Μαΐου.

	Pmax	a	Rd
UV0	14,18 α (± 0,903)	0,071 α (± 0,012)	2,50 α (± 0,432)
UV5	26,08 β (± 0,856)	0,063 α (± 0,003)	3,26 α (± 0,214)

Προκειμένου να διαπιστωθεί εάν οι διαφορές που προέκυψαν για τις δύο καμπύλες του ρυθμού φωτοσύνθεσης είναι πραγματικές ή τυχαίες, γίνεται έλεγχος με το F-κριτήριο, όπου διαπιστώνεται αν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων του ρυθμού φωτοσύνθεσης υπο την κάλυψη των δύο υλικών (UV0 και UV5). Εφαρμόζοντας το F-κριτήριο βρέθηκε η τιμή $P < 0,005$ και επομένως υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο καμπυλών της φωτοσύνθεσης που προέκυψαν για τις 25 και 27 Μαΐου. Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 4.6 υπολογισμού της τιμής P για το F-κριτήριο.

Πίνακας 4.6. Υπολογισμός της τιμής P του F-κριτηρίου.

	SS	DF
ΥΠΟΘΕΣΗ ΜΗΔΕΝ	1060,2	263
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΥΠΟΘΕΣΗ	610,6	260
ΔΙΑΦΟΡΑ	449,5	3
ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	73,6	1,15
F	63,8	
P	4,98E-31	



Σχήμα 4.4. Φωτοσύνθεση συναρτήσει του ρυθμού ακτινοβολίας κατά την περίοδο 24 έως 29 Ιουνίου.

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της φωτοσύνθεσης που πραγματοποιήθηκαν στις 24 Ιουνίου έγινε βαθμονόμηση της απλοποιημένης εξίσωσης του Acock (4) για τον υπολογισμό της φωτοσύνθεσης και υπολογίστηκαν οι τιμές P_{max} , a και R_d οι οποίες βρέθηκαν για την περίπτωση του UV5 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού $P_{max}=13,88 (\pm 0,511) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $a=0,139 (\pm 0,017) \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και $R_d=6,54 (\pm 0,355) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης υπολογίστηκε η φωτοσύνθεση, οι υπολογισμένες τιμές της οποίας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.4 για την περίπτωση των μετρήσεων του UV5 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού.

Από το Σχήμα 4.4 φαίνεται ότι οι μετρημένες τιμές της φωτοσύνθεσης για την περίπτωση του UV5 θερμοκηπίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού, παρουσιάζουν μικρή διασπορά αλλά αποκλίνουν από τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης.

Ομοίως υπολογίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων της απλοποιημένης εξίσωσης του Acock (4) (για τον υπολογισμό της φωτοσύνθεσης) για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 29 Ιουνίου στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού και βρέθηκαν $P_{max}=13,99 (\pm 0,533) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $a=0,146 (\pm 0,019) \mu\text{mol (CO}_2) / \mu\text{mol (φωτονίων)}$ και $R_d=7,49 (\pm 0,350) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Σύμφωνα με τις παραπάνω υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης υπολογίστηκε η φωτοσύνθεση, οι υπολογισμένες τιμές της οποίας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.4 για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού. Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται πολύ μικρή διασπορά των μετρημένων τιμών της φωτοσύνθεσης και συγκεκριμένα σε ένταση ακτινοβολίας $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ και πάνω οι τιμές βρίσκονται πολύ κοντά στις υπολογισμένες τιμές, ενώ σε ένταση ακτινοβολίας κάτω από $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ οι μετρημένες τιμές είναι ελαφρά απομακρυσμένες από τις αντίστοιχες υπολογισμένες.

Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης των δύο μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 24 και 29 Ιουνίου, παρατηρείται ότι τα φυτά υπό την κάλυψη του UV0 υλικού φωτοσυνθέτουν με ελάχιστα

μεγαλύτερο ρυθμό απ' ότι τα φυτά που βρίσκονται υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες τιμές των Pmax, a και Rd για τις δύο παραπάνω μετρήσεις, βρέθηκε ο πίνακας 4.7.

Πίνακας 4.7. Υπολογισμένες τιμές των συντελεστών της εξίσωσης της φωτοσύνθεσης στην περίπτωση των μετρήσεων στις 24 και 29 Ιουνίου.

	Pmax	a	Rd
UV0	13,88 α (± 0,511)	0,139 α (± 0,017)	6,54 α (± 0,355)
UV5	13,99 α (± 0,533)	0,146 α (± 0,019)	7,49 α (± 0,350)

Συνεπώς θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι δύο καμπύλες δε διαφέρουν.

Στον Πίνακα 4.8 συνοψίζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά τη βαθμονόμηση της εξίσωσης της φωτοσύνθεσης στις διάφορες μετρήσεις και το τυπικό σφάλμα τους το οποίο παρουσιάζεται εντός της παρένθεσης, ενώ στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι τιμές από τη σύγκριση των συντελεστών της εξίσωσης με το t-κριτήριο.

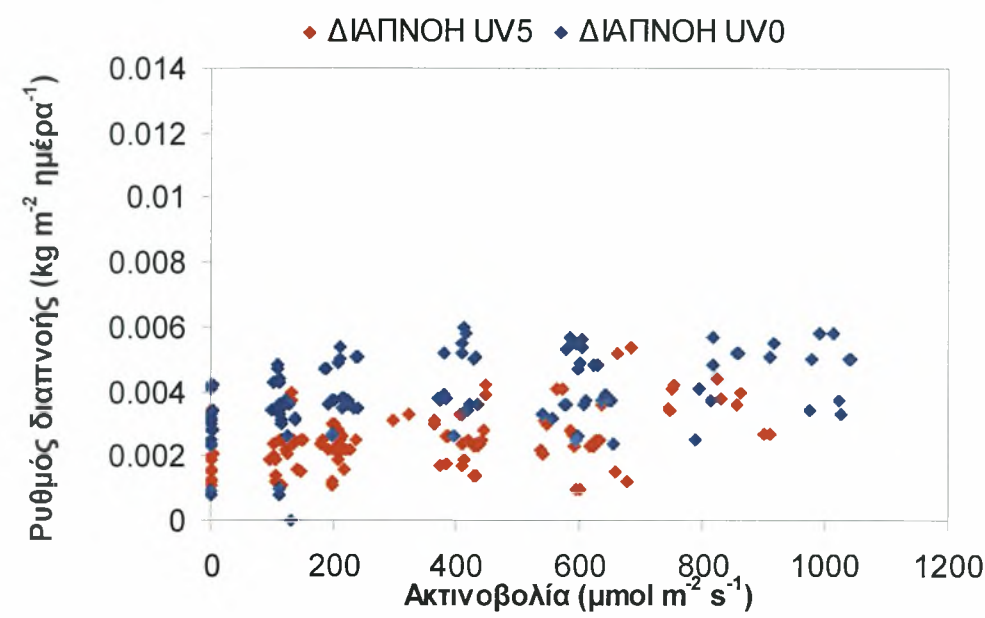
Πίνακας 4.8. Υπολογισμένες τιμές των συντελεστών της εξίσωσης της φωτοσύνθεσης για την κάθε μεταχείριση.

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	ΥΛΙΚΟ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Pmax	a	Rd
UV5	UV0	22/4/04	16,16 (0,53)	0,095 (0,01)	2,63 (0,31)
UV5	UV5	21/4/04	24,70 (1,06)	0,053 (0,003)	2,26 (0,22)
UV5	UV0	6/5/04	30,63 (1,13)	0,066 (0,004)	3,30 (0,324)
UV5	UV5	8/5/04	28,10 (1,30)	0,067 (0,005)	3,72 (0,334)
UV0	UV0	25/5/04	14,18 (0,90)	0,071 (0,012)	2,50 (0,431)
UV0	UV5	27/5/04	26,08 (0,85)	0,063 (0,003)	3,26 (0,214)
UV5	UV0	24/6/04	13,90 (0,51)	0,139 (0,017)	6,53 (0,35)
UV5	UV5	29/6/04	14,00 (0,53)	0,146 (0,019)	7,48 (0,35)

Πίνακας 4.9. Σύγκριση των συντελεστών της εξίσωσης ανάμεσα στις 2 μεταχειρίσεις με το t-κριτήριο.

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	ΥΛΙΚΟ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		t	t πίνακα	DF
UV5	UV0-UV5	21/4/04 22/4/04	Pmax	7,20	1,96	295
			a	4,24	1,96	
			Rd	0,96	1,96	
UV5	UV0-UV5	6/5/04 8/5/04	Pmax	1,47	1,96	322
			a	0,14	1,96	
			Rd	0,92	1,96	
UV0	UV0-UV5	25/5/04 27/5/04	Pmax	9,56	1,96	260
			a	0,61	1,96	
			Rd	1,57	1,96	
UV5	UV0-UV5	24/6/04 29/6/04	Pmax	0,15	2,01	49
			a	0,28	2,01	
			Rd	1,90	2,01	

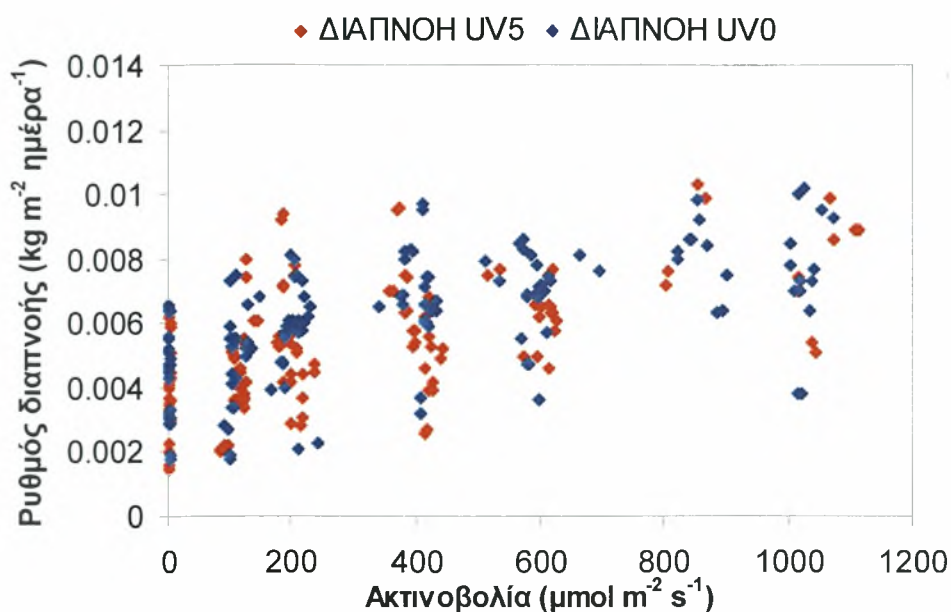
4.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΠΝΟΗ



Σχήμα 4.5. Διαπνοή συναρτήσει της ακτινοβολίας κατά την περίοδο από 21 έως 22 Απριλίου.

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται οι τιμές του ρυθμού διαπνοής συναρτήσει της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 22 Απριλίου στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού (ΔΙΑΠΝΟΗ UV0) καθώς επίσης και οι τιμές του ρυθμού διαπνοής συναρτήσει της ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 21 Απριλίου στο UV5 θερμοκήπιο χωρίς όμως την κάλυψη του UV5 υλικού (ΔΙΑΠΝΟΗ UV5).

Από το Σχήμα 4.5 παρατηρείται ότι τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό την κάλυψη του UV0 υλικού διέπνεαν με μεγαλύτερο ρυθμό από τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν χωρίς την κάλυψη του UV5 υλικού. Δεν βρέθηκε καλή συσχέτιση μεταξύ της διαπνοής και της Φωτοσυνθετικά Ενεργού Ακτινοβολίας.



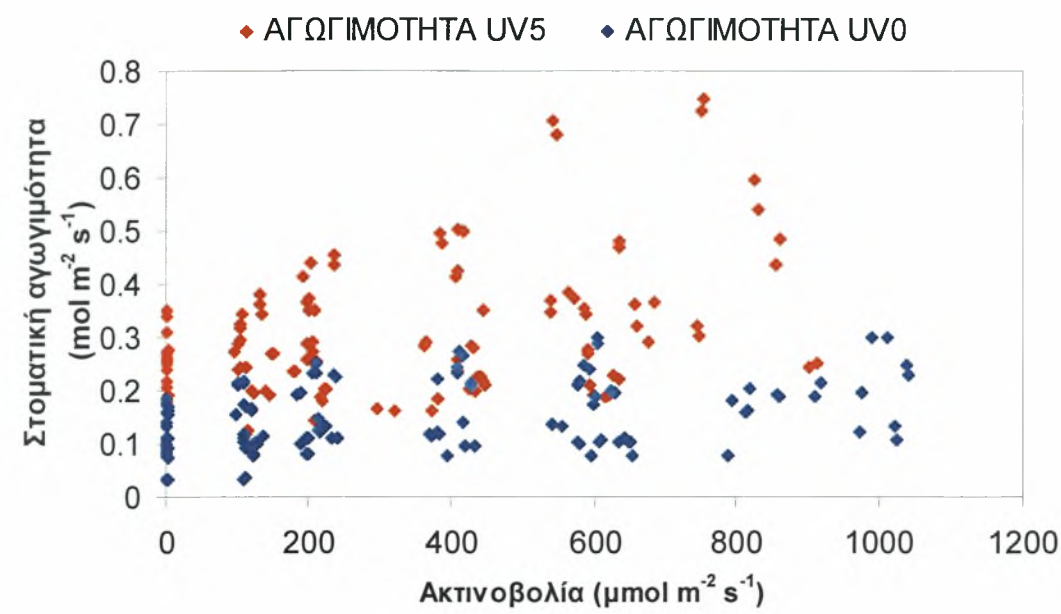
Σχήμα 4.6. Διαπνοή συναρτήσει της ακτινοβολίας κατά την περίοδο από 6 έως 8 Μαΐου.

Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζονται οι τιμές του ρυθμού διαπνοής συναρτήσει της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 6 Μαΐου στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού (ΔΙΑΠΝΟΗ UV0) καθώς επίσης και οι τιμές του ρυθμού διαπνοής συναρτήσει της ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 8 Μαΐου στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού (ΔΙΑΠΝΟΗ UV5).

Από το Σχήμα 4.6 παρατηρείται ότι τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό την κάλυψη του UV0 υλικού διέπνεαν με μεγαλύτερο ρυθμό από τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

Παρά το γεγονός ότι δεν προέκυψε κάποια καλή σχέση μεταξύ της διαπνοής και της ακτινοβολίας, από τα σχήματα 4.5 και 4.6 φαίνεται ότι τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό συνθήκες έλλειψης UV ακτινοβολίας διέπνεαν με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με αυτά που μετρήθηκαν σε κανονικές συνθήκες UV ακτινοβολίας.

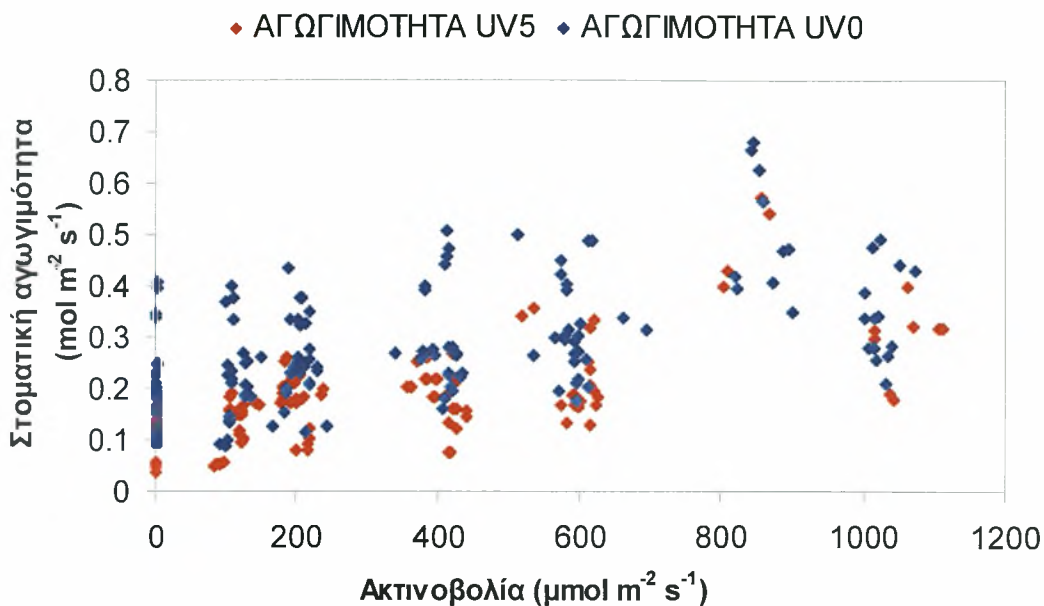
4.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ



Σχήμα 4.7. Στοματική αγωγιμότητα συναρτήσει της ακτινοβολίας κατά την περίοδο από 21 έως 22 Απριλίου.

Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζονται οι τιμές της στοματικής αγωγιμότητας συναρτήσει της ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 22 Απριλίου στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού (ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ UV0) καθώς επίσης και οι τιμές της στοματικής αγωγιμότητας συναρτήσει της ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 21 Απριλίου στο UV5 θερμοκήπιο χωρίς όμως την κάλυψη του UV5 υλικού (ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ UV5).

Από το Σχήμα 4.7 παρατηρείται ότι τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν χωρίς την κάλυψη του UV5 υλικού παρουσίασαν μεγαλύτερη στοματική αγωγιμότητα από τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό την κάλυψη του UV0 υλικού.



Σχήμα 4.8. Στοματική αγωγιμότητα συναρτήσει της ακτινοβολίας κατά την περίοδο από 6 έως 8 Μαΐου.

Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται οι τιμές της στοματικής αγωγιμότητας συναρτήσει της ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 6 Μαΐου στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού (ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ UV0) καθώς επίσης και οι τιμές της στοματικής αγωγιμότητας συναρτήσει της ακτινοβολίας για την περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 8 Μαΐου στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού (ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ UV5).

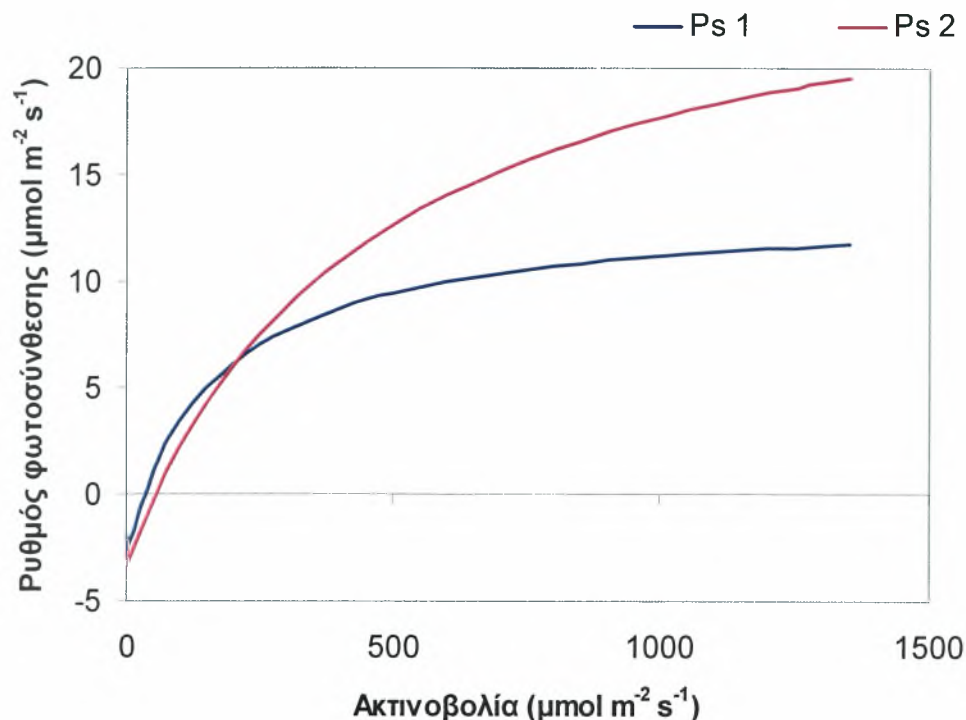
Από το Σχήμα 4.8 παρατηρείται ότι τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό την κάλυψη του UV0 υλικού παρουσίασαν μεγαλύτερη στοματική αγωγιμότητα από τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό την κάλυψη του UV5 υλικού.

Από τα σχήματα 4.7 και 4.8 φαίνεται αρχικά ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά των τιμών της στοματικής αγωγιμότητας συναρτήσει της Φωτοσυνθετικά Ενεργού Ακτινοβολίας (PAR). Παράλληλα, για παρόμοιες τιμές (PAR), η στοματική αγωγιμότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές υπό την κάλυψη του UV0 απ'ότι υπό το UV5 στις 6 και 8/5, ενώ τα αποτελέσματα είναι αντίθετα από αυτά στις 21 και 22/4.

Συνεπώς, λόγω της μεγάλης διασποράς των τιμών και λόγω των αντικρουόμενων αποτελεσμάτων, δε μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα στο τμήμα αυτό της εργασίας.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

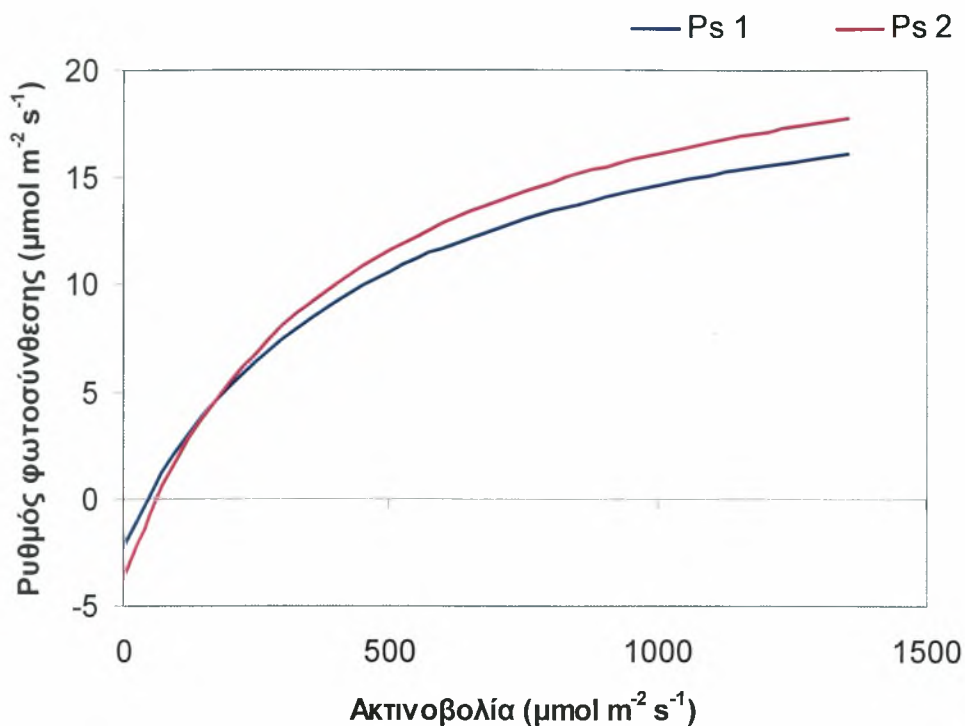
5.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΙΚΑ



Σχήμα 5.1. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 22 Απριλίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 6 Μαΐου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο.

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων P_{\max} , a και R_d της εξίσωσης (4) προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στις 22 Απριλίου και στις 6 Μαΐου.

Από το Σχήμα 5.1 παρατηρείται ότι τα φυτά κατά τις μετρήσεις στις 22 Απριλίου φωτοσυνθέτουν με ελαφρά μεγαλύτερο ρυθμό σε ένταση ακτινοβολίας από 0 έως $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ σε σύγκριση με τα φυτά στα οποία μετρήθηκε ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης τους κατά τις 6 Μαΐου, ενώ σε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας τα φυτά κατά τις μετρήσεις στις 6 Μαΐου, φωτοσυνθέτουν με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό.



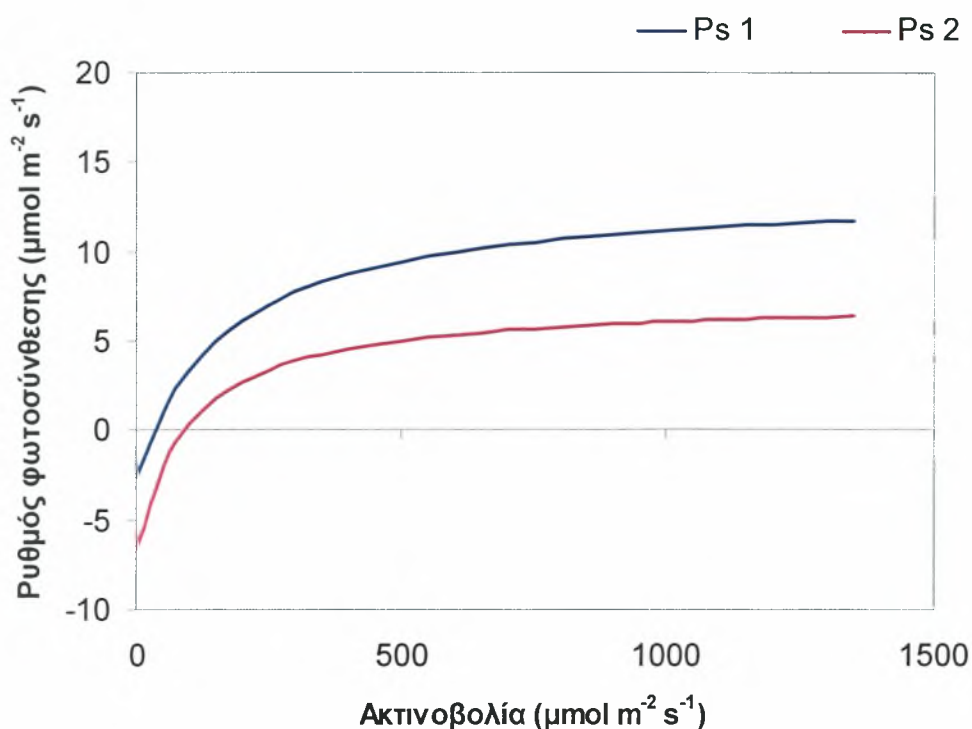
Σχήμα 5.2. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 21 Απριλίου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 8 Μαΐου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο.

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων P_{\max} , a και R_d προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στις 21 Απριλίου και στις 8 Μαΐου.

Από το Σχήμα 5.2 παρατηρείται ότι τα φυτά κατά τις μετρήσεις στις 21 Απριλίου φωτοσυνθέτουν με ελαφρά μεγαλύτερο ρυθμό σε ένταση ακτινοβολίας από 0 έως $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ περίπου, σε σύγκριση με τα φυτά που μετρήθηκε ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης τους κατά τις 8 Μαΐου, ενώ σε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας, τα φυτά στα οποία μετρήθηκε ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης τους στις 8 Μαΐου, φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό.

Από τα σχήματα 5.1 και 5.2 συμπεραίνεται ότι τα φυτά τα οποία βρίσκονται σε νεαρό στάδιο φωτοσυνθέτουν με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με τα φυτά τα οποία βρίσκονται στο βέλτιστο της ανάπτυξης τους και όταν υπάρχουν αναπτυσσόμενοι καρποί (strong sinks), όταν εκτίθενται σε ένταση

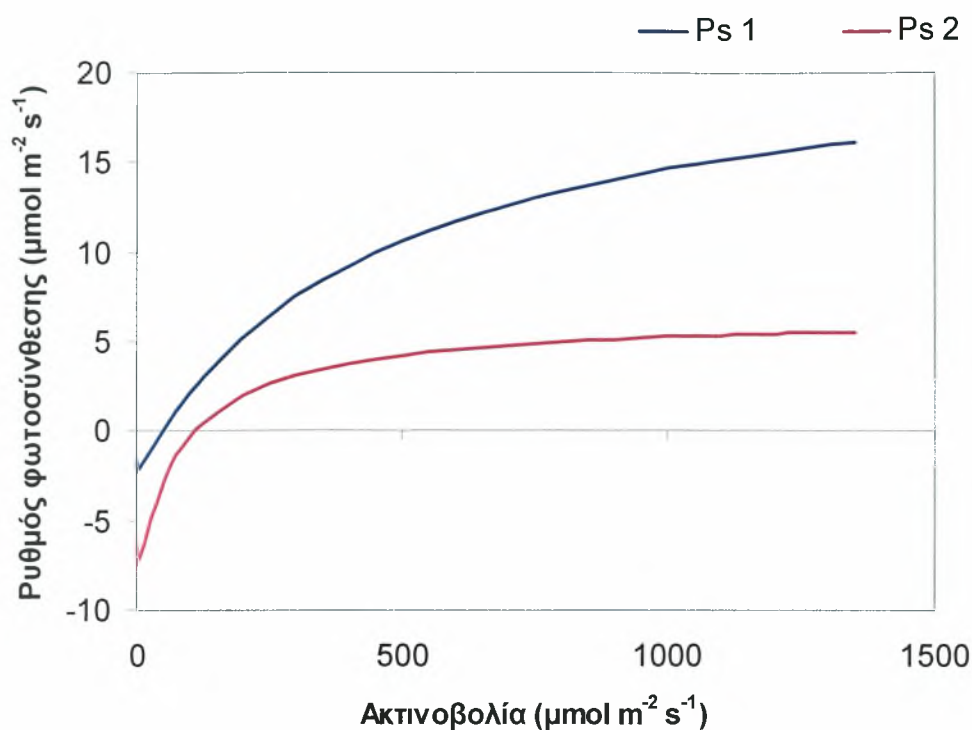
ακτινοβολίας μεγαλύτερη των $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Αντίθετα τα νεαρά φυτά όταν εκτίθενται σε ένταση ακτινοβολίας μικρότερη των $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ φωτοσυνθέτουν με ελαφρά μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με τα φυτά μεγαλύτερης ηλικίας.



Σχήμα 5.3. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 22 Απριλίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 24 Ιουνίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο.

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων P_{max} , a και R_d προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.3, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στις 22 Απριλίου και στις 24 Ιουνίου.

Από το Σχήμα 5.3 συμπεραίνεται ότι τα φυτά κατά τις μετρήσεις στις 22 Απριλίου φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό συγκρινόμενα με τα φυτά που μετρήθηκε ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης τους κατά τις 24 Ιουνίου.



Σχήμα 5.4. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 21 Απριλίου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 29 Ιουνίου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο.

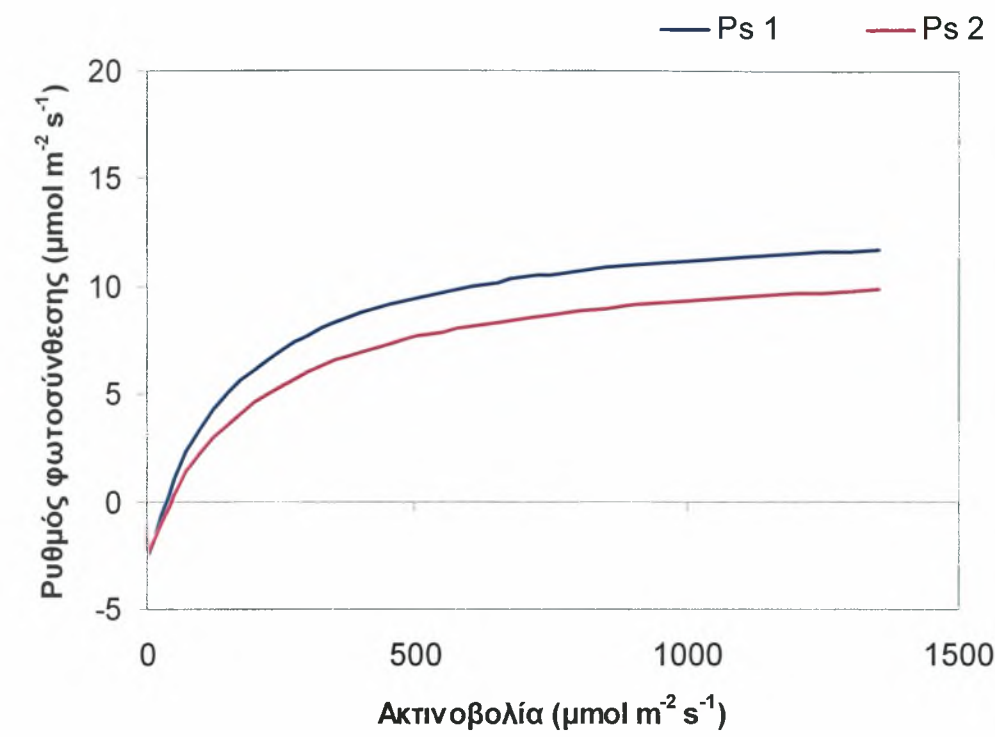
Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων P_{max} , a και R_d προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στις 21 Απριλίου και στις 29 Ιουνίου.

Από το Σχήμα 5.4 παρατηρείται ότι τα φυτά κατά τις μετρήσεις στις 21 Απριλίου φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό σε σύγκριση με τα φυτά που μετρήθηκε ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης τους κατά τις 29 Ιουνίου και μάλιστα ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης στην πρώτη περίπτωση είναι ανάλογος με την ένταση της ακτινοβολίας. Στη δεύτερη περίπτωση ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης είναι ανάλογος με την ένταση της ακτινοβολίας έως τα 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ενώ σε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας τα φυτά φωτοσυνθέτουν με τον ίδιο ρυθμό περίπου.

Συμπερασματικά παρατηρείται από τα σχήματα 5.3 και 5.4 ότι τα φυτά όταν βρίσκονται στο τέλος του βιολογικού τους κύκλου, φωτοσυνθέτουν με

μικρότερο ρυθμό σε σχέση με τα νεαρά φυτά ανεξάρτητα από την ένταση ακτινοβολίας στην οποία εκτίθενται. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι τα φυτά εφ' όσον βρίσκονται στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, τα φύλλα τους είναι γηρασμένα.

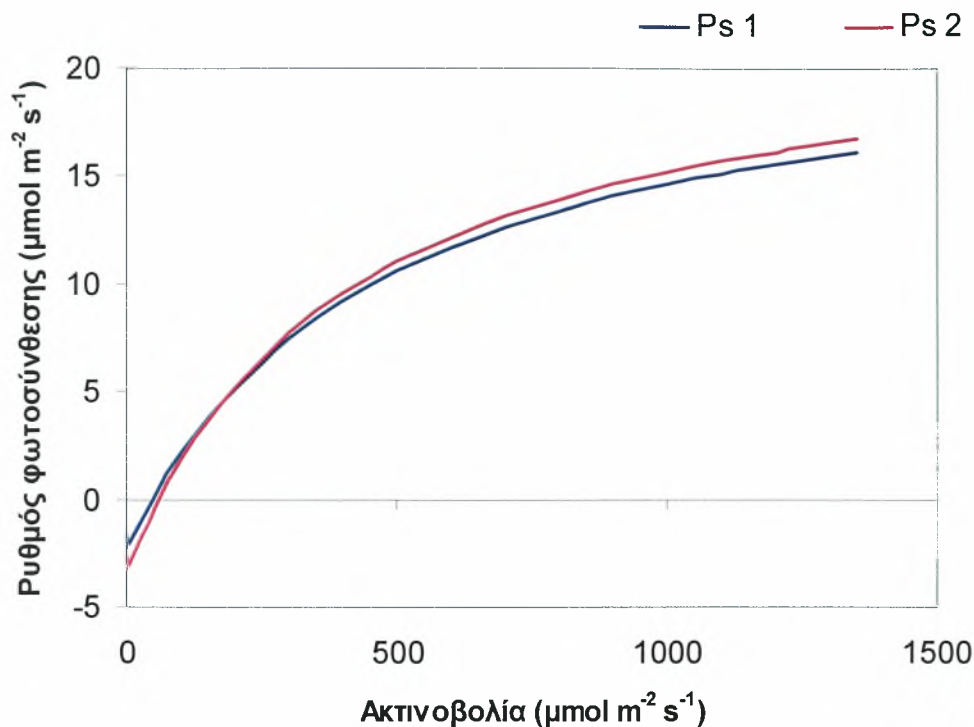
5.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ



Σχήμα 5.5. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 22 Απριλίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 25 Μαΐου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV0 θερμοκήπιο.

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων Pmax, a και Rd προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στις 22 Απριλίου και για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV0 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στις 25 Μαΐου.

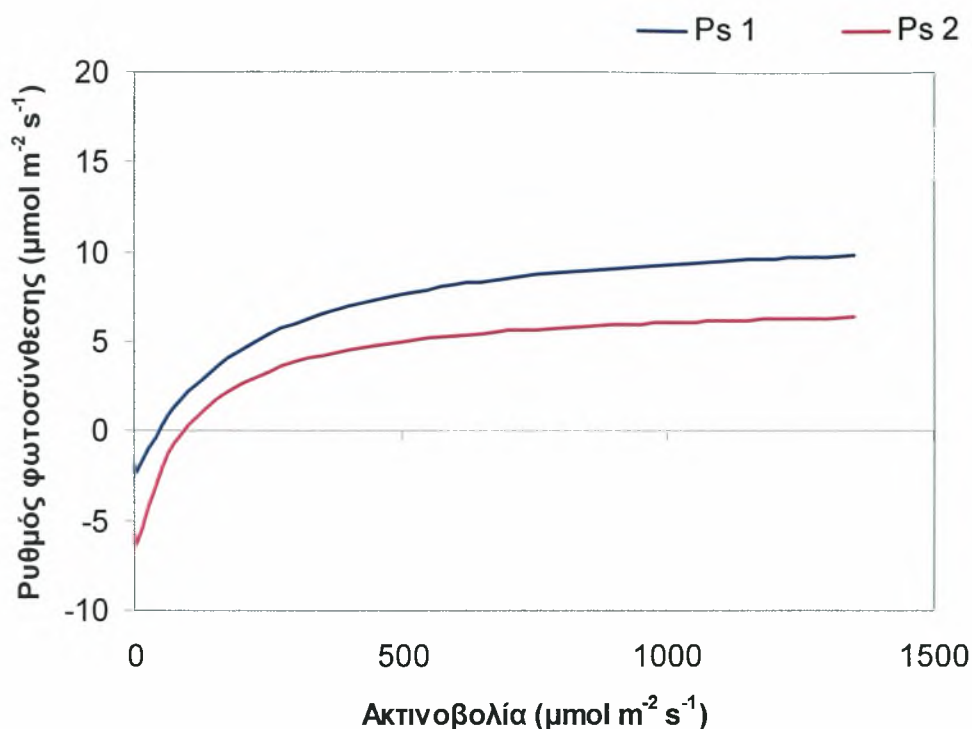
Από το Σχήμα 5.5 παρατηρείται ότι οι υπολογισμένες από τη βαθμονόμηση τιμές της φωτοσύνθεσης και στο UV5 και στο UV0 θερμοκήπιο μεταβάλλονται με τον ίδιο ρυθμό. Τα φυτά στο UV5 θερμοκήπιο φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό, αν και σε μικρές εντάσεις ακτινοβολίας (0-50 μmol m⁻² s⁻¹) φωτοσυνθέτουν με τον ίδιο σχεδόν ρυθμό.



Σχήμα 5.6. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 21 Απριλίου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 27 Μαΐου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV0 θερμοκήπιο.

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων P_{max} , a και R_d προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στις 21 Απριλίου και για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV0 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στις 27 Μαΐου.

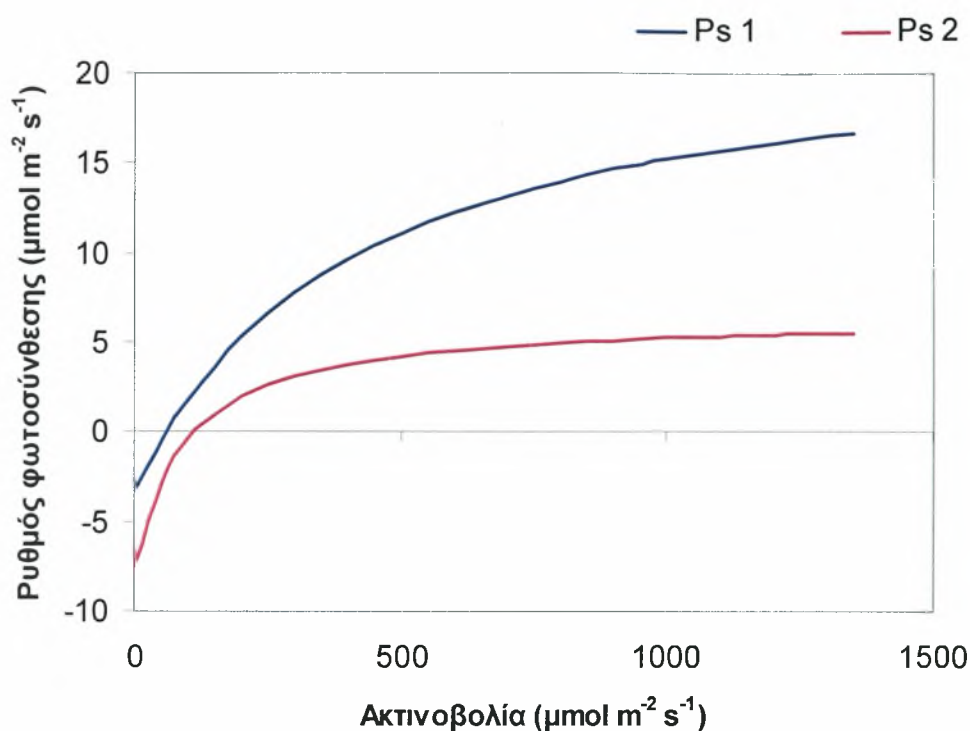
Από το Σχήμα 5.6 παρατηρείται ότι τα φυτά και στις δύο περιπτώσεις φωτοσυνθέτουν σχεδόν με τον ίδιο ρυθμό. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά στο UV5 θερμοκήπιο φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό σε ένταση ακτινοβολίας από 0 έως 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, σε σχέση με τα φυτά που βρίσκονται στο UV0 θερμοκήπιο. Σε ένταση ακτινοβολίας από 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ έως 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ τα φυτά και στα δυο θερμοκήπια υπό την κάλυψη του UV5 υλικού, φωτοσυνθέτουν με τον ίδιο ρυθμό, ενώ σε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας τα φυτά που στο θερμοκήπιο UV0 φωτοσυνθέτουν με ελαφρά μεγαλύτερο ρυθμό.



Σχήμα 5.7. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 25 Μαΐου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV0 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 24 Ιουνίου υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο.

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων P_{max} , a και R_d προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.7, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV0 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στις 25 Μαΐου και για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV0 υλικού στις 24 Ιουνίου.

Από το Σχήμα 5.7 παρατηρείται το γεγονός ότι τα φυτά στο θερμοκήπιο UV0 που μετρήθηκαν υπό την κάλυψη του UV0 υλικού φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό από τα φυτά που μετρήθηκαν στο UV5 υλικό υπό την κάλυψη του UV0 υλικού και μάλιστα η διαφορά αυτή αυξάνεται όσο μεγαλώνει η ένταση της ακτινοβολίας εξ' αιτίας της μείωσης του ρυθμού της φωτοσύνθεσης στο θερμοκήπιο UV5.



Σχήμα 5.8. Υπολογισμένες τιμές φωτοσύνθεσης συναρτήσει της ακτινοβολίας, όπου Ps1: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 27 Μαΐου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV0 θερμοκήπιο, Ps 2: υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης κατά τη μέτρηση στις 29 Ιουνίου υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στο UV5 θερμοκήπιο.

Χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές των παραμέτρων P_{max} , a και R_d προέκυψε η καμπύλη της φωτοσύνθεσης, συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.8, για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV0 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στις 27 Μαΐου και για την περίπτωση των μετρήσεων στο UV5 θερμοκήπιο υπό την κάλυψη του UV5 υλικού στις 29 Ιουνίου.

Από το Σχήμα 5.8 συμπεραίνεται ότι τα φυτά στο θερμοκήπιο UV0 φωτοσυνθέτουν με ρυθμό ανάλογο με την ένταση της φωτοσύνθεσης. Τα φυτά στο θερμοκήπιο UV5 φωτοσυνθέτουν με ρυθμό ανάλογο της έντασης της ακτινοβολίας έως και $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, ενώ σε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας δεν παρατηρείται αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης. Συγκρίνοντας τώρα τις υπολογισμένες τιμές της φωτοσύνθεσης παρατηρείται ότι τα φυτά στο UV0 θερμοκήπιο φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με τα φυτά τα οποία βρίσκονται στο UV5 θερμοκήπιο.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης ενός απορροφητικού της υπεριώδους ακτινοβολίας υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων (διαπερατότητα 0.4 % στη UV-A και 1.1 % στη UV-B ακτινοβολία), στη φωτοσύνθεση και τη διαπνοή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι τα φύλλα τα οποία μετρήθηκαν είτε υπό συνθήκες έλλειψης UV ακτινοβολίας είτε σε κανονικές συνθήκες UV ακτινοβολίας, φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό όταν βρίσκονται στο μέγιστο της βλαστικής και αναπαραγωγικής τους ανάπτυξης. Επίσης συμπεραίνεται ότι τα φυτά τα οποία βρίσκονται σε νεαρό στάδιο φωτοσυνθέτουν με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με τα φυτά τα οποία βρίσκονται στο μέγιστο της βλαστικής και αναπαραγωγικής τους ανάπτυξης, όταν εκτίθενται σε ένταση ακτινοβολίας μεγαλύτερη των $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Επιπλέον, βρέθηκε ότι τα φυτά όταν βρίσκονται στο τέλος του βιολογικού τους κύκλου φωτοσυνθέτουν με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με τα νεαρά φυτά ανεξάρτητα από την ένταση ακτινοβολίας στην οποία εκτίθενται. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι εφ' όσον τα φυτά βρίσκονται στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, τα φύλλα τους είναι γηρασμένα.

Ακόμα συμπεραίνεται ότι τα φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το απορροφητικό της υπεριώδους ακτινοβολίας υλικό κάλυψης, φωτοσυνθέτουν με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με αυτά που αναπτύχθηκαν σε κανονικές συνθήκες UV ακτινοβολίας. ανεξάρτητα από τις συνθήκες στις οποίες μετρήθηκαν.

Όσον αφορά το ρυθμό με τον οποίο διαπνέουν τα φυτά προκύπτει ότι τα φυτά τα οποία μετρήθηκαν υπό συνθήκες έλλειψης UV ακτινοβολίας τείνουν να διαπνέουν με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με αυτά που μετρήθηκαν σε κανονικές συνθήκες UV ακτινοβολίας.

Τέλος, παρατηρώντας την αγωγιμότητα των φυτών τα οποία αναπτύχθηκαν σε κανονικές συνθήκες UV ακτινοβολίας και μετρήθηκαν είτε σε συνθήκες έλλειψης UV ακτινοβολίας είτε σε κανονικές συνθήκες UV ακτινοβολίας, δε μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα διότι η γραμμή τάσης για την εκάστοτε αγωγιμότητα διαφέρει. Έτσι, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση

των απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας υλικών κάλυψης στη στοματική αγωγιμότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η μείωση της εισερχόμενης UV ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο προκαλεί αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης και διαπνοής των φυτών. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, ο οποίος μετρήθηκε σε νεαρά ή παλιά φύλλα φυτών τα οποία είχαν μεγαλώσει είτε υπό συνθήκες κανονικών επιπέδων UV ακτινοβολίας, είτε υπό συνθήκες μειωμένων επιπέδων UV ακτινοβολίας, ήταν μεγαλύτερος όταν οι μετρήσεις γίνονταν υπό συνθήκες κανονικών επιπέδων UV ακτινοβολίας (PE-1), από ότι όταν οι μετρήσεις γίνονταν υπό συνθήκες μειωμένων επιπέδων UV ακτινοβολίας (PE-2).

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Antignus Y., 2000. Manipulation of Wavelength-Dependent Behaviour of Insects: an IPM Tool to Impede Insects and Restrict Epidemics of Insect-Born Viruses. *Virus Research*, 71:213-220.

Avissar R., Avissar P., Mahrer Y. and Bravdo B. A., 1985. A model to simulate response of plant stomata to environmental conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 34: 21-29.

Baldocchi D. D., Hicks B. B. and Camara P., 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*, 21: 91-101.

Ball J. T., Woodrow I. E. and Berry J. A., 1987. A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. In: Biggins, J., (Editor). *Proceedings of the 7th international congress in 'Progress in photosynthesis research'*. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers, 221-224.

Becwar M.R., Morre F.D. and Bureke M.J., 1982. Effects of depletion and enhancement of ultraviolet-B (280-315nm) radiation on plants grown at 3000 m elevation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:771-779.

Bornman J.F., 1989. Target sites of UV-B radiation in photosynthesis of higher plants. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 4:145-158.

Bunce J. A., 1985. Effect of boundary layer conductance on the response of stomata to humidity. *Plant, Cell and Environment*, 8: 55-57.

Cayenberghs E., Deckmyn G. and Ceulemans R., 2001. Decreased ultraviolet-B radiation alters the vertical biomass distribution in cocksfoot. *Biol. Plant.* 44(3): 385-389.

Choudhury B. J. & Idso S. B., 1985. An empirical model for stomatal resistance of field-grown wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36: 65-82.

Choudhury B., 1983. Simulating the effects of weather variables and soil water potential on a corn canopy temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 29: 169-182.

Collatz G. J., Ball J. T., Grivet C., and Berry J. A., 1991. Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and

transpiration: a model that includes a laminar boundary layer. *Agricultural and Forest Meteorology*, 54: 107-136.

Costa H.S., Robb K.L. and Wilen C.A., 2002. Field Trials Measuring the Effects of Ultraviolet-Absorbing Greenhouse Plastic Films on Insect Populations. *Journal of Economic Entomology*, 95: 113-120.

Deckmyn G., Cayenberghs E. and Ceulemans R., 2001. Reduced UV-B in greenhouses decreases white clover response to enhanced CO₂. *Environ. Exper. Bot.* 46(2): 190-117.

Dwyer L. M. & Stewart D. W., 1984. Indicators of plant stress in corn (*Zea mais* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 64: 537-546.

Ekelund N.G., 2000. Interaction between photosynthesis and 'light-enhanced dark respiration' in the flagellate *Euglena gracilis* after irradiation with ultraviolet radiation. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol*, 55: 63-69.

Elad Y., 1997. Effect of filtration of solar light on the production of conidia by field isolates of *Botrytis cinerea* and on several diseases of greenhouse-grown vegetables. *Crop Protection*, 16: 635-642.

Espi E., Salmeron A., Monci F., Sancez F. and Moriones E., 2002. TYLCV-Control with UV-Blocking Plastic Houses of Southern Spain. Symposium 16 (S16): Protected Cultivation 2002: In Search of Structures, Systems and Plant Materials for Sustainable Greenhouse Production. XXVIth International Horticultural Congress.

Farquhar G. D., 1978. Feedforward response of stomata to humidity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 5: 787-800.

Farquhar G. D. & Sharkey T. D., 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33: 317-345.

Fletcher J.M., Tatsiopoulou A., Hadley P., Davis F.J. and Henbest R.G.C., 2002. Growth, yield and development of strawberry cv. 'Elsanta' under novel photoselective film clad greenhouses. *Acta Horticulturae*, 633: 99-106.

González A., García-Alonso Y., Espí E., Fontecha A. and Salmerón A., 2004. Viral diseases control with UV-blocking films in greenhouses of southern Spain. *Acta Horticulturae* 659: 331-338

Gonzalez A., Rodriguez R., Banón S., Franco J.A. and Fernandez J.A., 2001. The Influence of Photoselective Plastic Films as Greenhouse Cover on Sweet Pepper Yield and on Insect Pest Levels. *Acta Horticulturae* 559: 233-238

González A., Rodríguez R., Bañón S., Franco J.A., Fernández J.A., Salmerón A. and Espí E., 2003. Strawberry and cucumber cultivation under fluorescent photoselective plastic films cover. *Acta Hort.* 614: 407-413.

Grantz D. A. & Zeiger E., 1986. Stomatal responses to light and leaf – air water vapour pressure difference show similar kinetics in sugarcane and soybean. *Plant Physiology*, 81: 865-868.

Heuberger H., Praeger U., Georgi M., Schirmacher G., Graßmann J. and Schnitzler W.H., 2004. Precision stressing by UVB radiation to improve quality of spinach under protected cultivation. *Acta Horticulturae* 659: 201-206.

Jain D., 2004. Modeling the performance of greenhouse with packed red thermal storage on crop drying application. *Journal of Food Engineering*, 71: 170-178.

Jarvis P. G., 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, B*, 273: 593-610.

Kaufmann M. R., 1982. Leaf conductance as a function of photosynthetic photon flux density and absolute humidity difference from leaf to air. *Plant Physiology*, 69: 1018-1022.

✓ **Kittas C., 1993.** Modifications of the thermal and mechanical behaviour of a greenhouse induced by a windbreak. *Agronomie*, 13: 105-108.

Kittas C. & Baille A., 1998. Determination of the Spectral Properties of Several Greenhouse Materials and Evaluation of Specific Parameters Related to Plant Response. *J. Agric. Engng Res.*, 71: 193-202.

Kittas C., Papaioanou Ch., Obeid D., Katsoulas N. & Tchamitchian M., 2004. Effect of two new uv-absorbing greenhouse covering-films on growing yield of a tomato soilless crop. Internatcional Symposium of the CIGR 2nd Technical Section. New Trends In Farm Buildings. 2-6 May 2004. Évora, Portugal.

Kleeman M., 2002. Effect of photoselective plastics on the quality of lettuce. *Acta Horticulturae* 633: 173-179.

Leonardi C., Giuffrida F., Scuderi D. and Arcidiacono C., 2004. Effect of greenhouse covering materials on tomato grown during hot months. *Acta Horticulturae* 659: 183-188.

- Leuning R., 1995.** A critical appraisal of a combined stomatal photosynthesis model for C3 plants. *Plant, Cell and Environment*, 18: 339-355.
- Lindroth A., 1985.** Canopy conductance of coniferous forests related to climate. *Water Resource Research*, 21: 297-304.
- Monci F., García-Andrés S., Sánchez F., Moriones E., Espí E. and Salmerón A., 2002.** Tomato yellow leaf curl virus disease control with UV-Blocking plastic covers in commercial plastichouses of southern Spain. *Acta Horticulturae* 633: 537-542.
- Monteith J. L., 1973.** *Principles of environmental Physics*. Contemporary Biology, Edward Arnold, London, UK, 241 pp.
- Monteith J. L., 1995.** A reinterpretation of stomatal responses to humidity. *Plant, Cell and Environment*, 18: 357-364
- Motulsky H J & Christopoulos A., 2003.** Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc., San Diego, CA.
- Nitz G.M. & Schnitzer W.H., 2004.** Effect of PAR and UV-B radiation on the quality and quantity of the essential oil in sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Acta Horticulturae* 659: 375-381.
- Pachepsky L.B & Acock B., 1994.** An Adequate Model of Photosynthesis-II. Dependence of Parameters on Enviromental Factors. *Agricultural Systems*, 50: 227-238.
- Papadopoulos Y.A., Gordon R.J., McRae K.B., Bush R.S., Belanger G., Butler E.A., Fillmore S.A.E. and Morrison M., 1999.** Current and elevated levels of UV-B radiation have few impacts on yields of perennial forage crops. *Global Change Biol.* 5(8): 847-856.
- Pearson, S., Wheldon, A. E. and Hadley, P., 1995.** Radiation Transmition and Fluorescence of Nine Greenhouse Cladding Materials. *J.agric. Engng Res*, 62: 61-70.
- Phoenix J., Henbest R. And Hadley P., 2000.** The use of of far red absorbing films as alternatives to chemical. Plant Growth regulators. Plasticulture 2000: Proceedings of 15th International Agricultural Plastics Congress, Pennsylvania.
- Rajapakse N., Cerny T., Li S. and Oi R., 2001.** Alteration of greenhouse light enviroment by photoselective covers to produce compact plants. *Acta Horticulturae*, 559: 243-248

Sage, R.F., Sharkey, T.D. and Seeman, J.R., 1989. Acclimation of photosynthesis to elevated CO₂ in five C₃ species. *Plant Physiol.*, 89: 590-600.

Secker-Esquia I., 2000. Effect of UV absorbing plastic covers on bumblebees in tomato greenhouses. Proceedings of 15th International Congress for Plastic in Agriculture, Pennsylvania, USA - September 2000, 150-151.

Seginer I., 1984. On the night transpiration of greenhouse roses under glass or plastic cover. *Agricultural and Forest Meteorology*, 30: 257-68.

Seginer I., 1994. Transpirational cooling of a greenhouse crop with partial ground cover. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71: 265-281.

Shiozaki N., Hattori I., Gojo R. and Tezuka T., 1999. Activation of growth and nodulation in a symbiotic system between pea plants and leguminous bacteria by near-UV radiation. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 50: 33-37.

Shiozaki N., Tezuka T., School of Human Informatics, Nagoya University, Japan, siozaki@info.human.nagoya-u.ac.jp, Solar radiation on the Earth's surface is an essential factor for plant growth. Abstract number:406, Session number:45, Session Name: Environmental Response & adaption, Webmaster@abstracts.aspd.org.

Simpson J. R., Fritshen L. J. and Walker R. B., 1985. Estimating stomatal diffusion resistance for Douglas-Fir, Lodgepole Pine and White Oak under light saturated conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 33: 299-313.

Stanghellini C., 1987. Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management. *PhD Thesis*, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands, 150 pp.

Takami S. & Uchijima Z., 1977. A model for the greenhouse environment as affected by the mass and energy exchange of a crop. *Agricultural Meteorology*, 33: 117-127.

Teklemarian T. & Blake T.J., 2003. Effects of UVB preconditioning on heat tolerance of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Environmental & Experimental Botany*, 50: 169-182.

Teramura A.H., and Sullivan J.H., 1991. Potential effects of increased solar UV-B on global plant productivity. p. 625-634. In E. Riklis (ed.) *Photobiology*, Plenum Press, New York

Teramura A.H., Tevini M. and Iwanzik W., 1983. Effects of ultraviolet-B irradiance on plants during mild water stress. I. Effects on diurnal stomatal resistance. *Physiol Plant*, 57: 175-180.

Turner N. C., 1974. Stomatal behaviour and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. *Plant Physiology*, 53: 360-365.

Tevini. M., and Teramura A.H., 1989. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem. Photobiol.* 50: 479-487.

Tezuka T., Hotta T. and Watanabe I., 1993. Growth promotion of tomato and radish plants by solar UV radiation reaching the Earth's surface. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 19: 61-66.

Van Bavel C. H. M., 1974. Soil water potential and plant behaviour: a case modelling study with sunflowers. *Ecologia Plantarum*, 9: 89-109.

Waaijenbergh D., 2000. Additives make greenhouse films universally effective. *FlowerTech* 3(7): 8-11.

Wermaas W., 1998. An introduction to photosynthesis and its applications. "the world & i", March 1998 issue, pages 158-165. (<http://www.worldandi.com/>).

Zeiger E., 1983. The biology of stomatal guard cells. *Annual Review of Plant Physiology*, 34: 441-475.

Ανώνυμος, 2002. Περιοδικό Γεωργία- Κτηνοτροφία τεύχος 6.

Βατσανίδου Α., 2002. Επίδραση Πλαστικών Φύλλων Κάλυψης Θερμοκηπίων, Απορροφητικών στο Υπεριώδες Φως, πάνω στη Δραστηριότητα Εντόμων σε Καλλιέργεια Τομάτας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών. Βόλος.

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (www.statistics.gr)

Καραταγλής Σ.Σ., 1999. Φυσιολογία Φυτών. Τρίτη Έκδοση. Εκδόσεις Art of text. Θεσσαλονίκη.

Κίττας Κ, 2001. Θερμοκήπια. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.

Λόλας Π.Χ., 2000. Φυσιολογία Φυτού. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.

Μαλετσικά Π., 2004. Επίδραση της Υπεριώδους Ακτινοβολίας στα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υδροπονικά Παραγόμενης Τομάτας σε Πλαστικό Θερμοκήπιο. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή

Γεωπονικών Επιστημών. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεραπτυχιακών Σπουδών. Βόλος.

Μαυρογιαννόπουλος Γ.Ν., 1994. Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Ολύμπιος Χ.Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Τσέκος Ι.Β., 2003. Φυσιολογία Φυτών Τόμος Ι. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε. Θεσσαλονίκη.

Φλόκας Απ.Αθ., 1997. Μαθήματα μετεωρολογίας και κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

http 1: <http://www.angelfire.com/me/forestmesure/khp.htm>

http 2: <http://www.eie.gr/ex3/dia/sym/tsirogiannis/1.htm>

http 3: <http://www.teilar.gr/schools/steg/agriculture/lessons/lessonsonline/internet%20papadopoulos/28a.htm>

http 4: <http://www.eppleylab.com/Intro.htm>

http 5: <http://www.eere.energy.gov/consumerinfo/factsheets/v138.html>

http 6: <http://www.Life.uiuc.edu/govindjee/paper/gov.html>

http 7: <http://www.neo.gr/website/ergasiamathiti/60.htm>

http 8: <http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/BIOBK/BioBookPS.html>

http 9: <http://biology.clc.uc.edu/courses/bio104/photosyn.htm>

http 10: <http://daedalus.math.uoi.gr/agrotica/anthokomia/anth/kef/4/424.htm>

http 11: www.plastikakritis.com

http 12: <http://www.biology.leeds.ac.uk./school/societies/ceug/proceedings/proceedings02.htm>. Hadley P., Fletcher M. J. 2002. Developments in novel plastic films designed for greenhouse cladding. UK Controlled environment users' group. Scientific Meeting. Summaries of papers.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074950